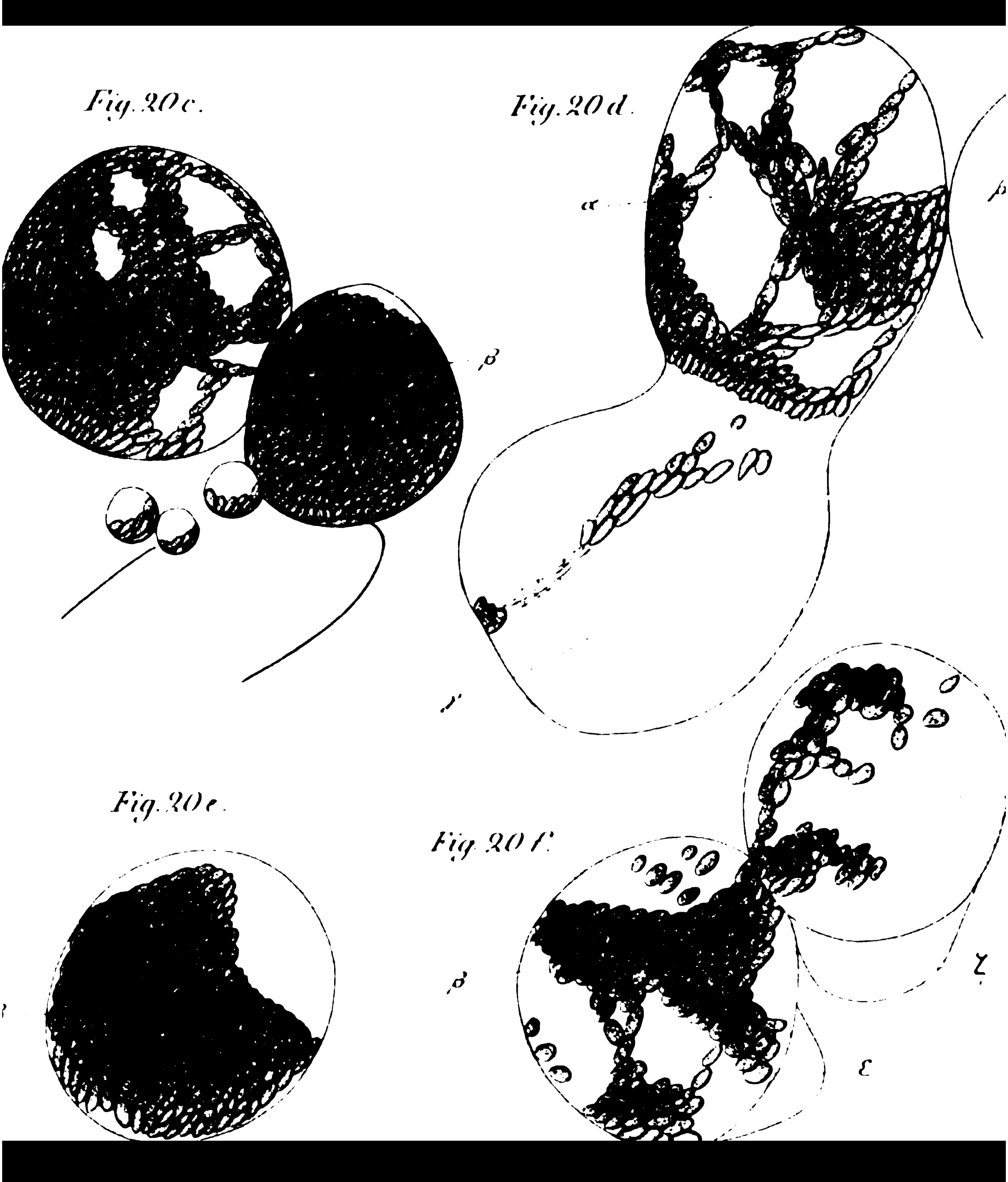


Jahrbücher für wissenschaftliche Botanik

N. Pringsheim, W. Pfeffer, E. Strasburger



JAHRBÜCHER

für

wissenschaftliche Botanik.

Herausgegeben

von

Dr. N. Pringsheim.

Neunzehnter Band.

Mit 20 zum Theil farbigen Tafeln.

Berlin, 1888.
Verlag von Gebrüder Borntraeger.
Ed. Eggers.

Inhalt.

Alphabetisch nach den Namen der Verfasser geordnetes Inhaltsverzeichniss.

Verzeichniss der Tafeln.

JAHRBÜCHER

für

wissenschaftliche Botanik.

Herausgegeben

von

Dr. N. Pringsheim.

Neunzehnter Band. Erstes Heft.
Mit 2 lithographirten Tafeln.

Berlin, 1888.
Verlag von Gebrüder Borntraeger
Ed. Eggers.

Vergleichende Untersuchungen über Schutz- und Kern-Holz der Laubbäume.

Von

Edmund Praël,
stud. rer. nat.

Hierzu Tafel I.

Schon seit langer Zeit ist es der Beobachtung nicht entgangen, dass das normal hellfarbige Holz junger Zweige bei zufälligen oder absichtlichen Verwundungen eine besonders beim Längsaufspalten solcher Zweigstumpfe hervortretende, meist aber nur bis zu dem nächsten Seitenzweig oder der nächsten Knospe reichende und je nach Art und Dauer der Verwundung, sowie Individualität des betreffenden Baumes, ja des Zweiges mehr oder minder starke Dunkelung zeigt, und schon früh ist man geneigt gewesen, diese Erscheinung mit der normalerweise beim Altern des Baumes eintretenden Kernbildung in Parallele zu setzen. In letzterer Hinsicht ist zunächst eine Aeusserung von Th. Hartig[1]) anzuführen. Hartig schreibt im Gegensatz zu der bis dahin meist herrschenden Ansicht von der Entstehung des Kernholzes aus dem Splint durch Verdickung der Zellwand oder Erhärtung des Zellstoffes selbst jene Umwandlung des Holzes und die dabei bemerkbar werdende grössere Schwere, dunklere Färbung und grössere Härte vielmehr der An-

---

1) „Ueber die Vegetationsperioden der Waldbäume und deren Produkte" in der Allgem. Forst- und Jagd-Zeitung 1857, S. 283 ff.

sammlung eines besonderen gelb, bräunlich oder schwarz gefärbten Stoffes zu, welcher den Zellraum der Holzfasern und der Holzröhren mehr oder weniger ausfülle, zum Theil auch die Zellwand selbst durchdringe; er nennt diesen sich durch grosse Indifferenz gegen chemische Reagentien auszeichnenden Stoff, über dessen chemischen Bestand es sehr schwer sei, sich eine Ansicht zu verschaffen, „Kernstoff“ oder „Xylochrom“ und erwähnt — allerdings nur beiläufig — dass nicht nur im natürlichen Verlauf der Entwickelung des Kernholzes sich das Xylochrom in den konstituirenden Elementen des Holzes ablagere, sondern dass bei jeder Störung des Holzwuchses, sei es durch Frost oder Verwundung des Holzkörpers, Aehnliches geschehe.

Gelegentlich seiner bekannten, ausgedehnten „Vergleichenden Untersuchungen über die Zusammensetzung des Holzkörpers“ spricht auch Sanio[1]) über den in Gefässen besonders des Kernholzes auftretenden Inhaltsstoff ziemlich ausführlich, ohne jedoch die dabei beobachtete Veränderung des Holzes auch verletzten Stellen des Splints zuzuschreiben. Dagegen weist 1878 R. Hartig in einem besonderen Werke[2]) darauf hin, dass die als erste Veränderung an der Wundstelle eines Baumes wahrzunehmende Dunkelung des blossgelegten Holzkörpers sich an jeder, aus welchem Anlass auch immer entstandenen Verletzung vollziehe; doch irrt Hartig, wenn er die in den Elementen solchen Holzes auch von ihm beobachtete homogene Substanz als eingetrocknete „Humuslösung“ deutet und in der eintretenden Verfärbung des Holzes den ersten Beginn der „Zersetzung“ desselben oder der „Wundfäule“ sieht.

Weiter sind auf vorliegenden Gegenstand Arbeiten Böhm's, Molisch's und Gaunersdorfer's gerichtet. Die erste Publikation Böhm's[3]) beschäftigt sich, ihrer Ueberschrift entsprechend, nur mit der Erfüllung der Holzröhren mit Zellen (Thyllen), welche an abgestutzten Zweigen auch dann erfolge, wenn man in den Ge-

---

1) Botanische Zeitung 1863, S. 126—127.

2) „Die Zersetzungserscheinungen des Holzes der Nadelholzbäume und der Eiche“, Berlin 1878, S. 66 und 140.

3) „Ueber Funktion und Genesis der Zellen in den Gefässen des Holzes“ in Sitzungsber. der K. K. Akad. der Wissensch., Wien, LV. Bd. (1867), 2. Abth., S. 851—866.

fässen des unverletzten Stammes nie eine Thylle finde. In einem zweiten Aufsatz giebt genannter Forscher[1]) dann in gleicher Weise für Aststumpfe und Kernholz an, dass sich die Gefässe mit sehr wenigen Ausnahmen von Seite der Nachbarzellen entweder mit Thyllen (Familien der Amentaceen und Moreen), oder mit einer gummi- oder harzartigen Substanz (Rosiflor., Berberid.) füllen; ob das eine oder andere geschehe, hänge ab von der chemischen Natur des durch die Poren erfolgenden Ergusses[2]) in die Gefässe. In einer dritten Arbeit[3]) endlich geht Böhm bereits so weit, die Art der Gefässerfüllung — ob durch Thyllen oder mittelst Gummi — als nicht minder charakteristisch für die Pflanzengattung hinzustellen, als es z. B. ihr Blüthenbau sei.

Molisch[4]) hat einen ganz besonderen Fall der Gefässerfüllung, der seinen Angaben zufolge aber keineswegs so vereinzelt dasteht, wie man vielleicht anzunehmen geneigt ist, nämlich mit Calciumcarbonat, untersucht und fand diese Ablagerung „in der Regel im Kernholz oder an solchen Orten, wo die Zellen ähnliche chemische und physikalische Eigenschaften erkennen lassen, wie sie dem Kernholz zukommen. Solche Orte aber sind .... 2) todtes, verfärbtes Wundholz und 3) todte, verfärbte Astknoten“.

Sehr eingehend und bemerkenswerth sind die Untersuchungen Gaunersdorfer's[5]). Derselbe weist gleich eingangs darauf hin, dass viele Holzpflanzen bei der Verletzung ihrer Zweige nicht in dem Maasse leiden, wie man nach der Beschaffenheit der Verwundung, durch welche meist ein grosser Theil der Gefässe blossgelegt

---

1) „Ueber den aufsteigenden Saftstrom und den Abschluss lebender Zellen gegen äussere Einwirkungen“, Sitzungsber. der Vers. deutscher Naturforscher und Aerzte in Hamburg, 1876, durch Botan. Ztg. 1877, Sp. 112—113.

2) Dieser Ausdruck hängt zusammen mit einer von der herrschenden Ansicht abweichenden Anschauung Böhm's über die Entstehungsweise der Thyllen (s. darüber S. 66).

3) „Ueber die Funktion der vegetabilischen Gefässe“, Botan. Ztg. 1879, S. 225—239 und 241—258.

4) H. Molisch, „Ueber die Ablagerung von kohlensaurem Kalk im Stamme dicotyler Holzgewächse“. Sitzungsber. der K. K. Akad. der Wissensch., Wien, LXXXIV. Bd. (1881), 1. Abth., S. 7—27.

5) J. Gaunersdorfer, „Beiträge zur Kenntniss der Eigenschaften und der Entstehung des Kernholzes“, ebenda (Wiener Sitzungsber.) LXXXV. Bd. (1882), 1. Abth., S. 9—41.

werde, erwarten solle, und betont sodann die grosse Aehnlichkeit zwischen der an der Grenze des lebenden und des bis zum nächsten Ast oder zur nächsten Knospe reichenden vertrockneten Holzes meist scharf abgesetzt sich zeigenden Schicht gelbbräunlich, lichter bis dunkler gefärbten Holzes und dem in Folge von Alter durch Ablagerung von Farbstoffen u. s. w. entstehenden Kernholz, ja er belegt jene Zone geradezu mit dem Namen „Kernholz". Gerade diese völlige Gleichsetzung beider Zustände des Holzes, bevor die Uebereinstimmung beider durch möglichst zahlreiche vergleichende Untersuchungen an derselben Pflanzenspecies erwiesen ist, dürfte aber den Werth der Gaunersdorfer'schen Mittheilungen etwas herabmindern. Nachdem nämlich der Autor das Ergebniss solcher bei Syring. vulgar.[1]) durchgeführten vergleichenden Untersuchung ausführlich mitgetheilt hat, folgen Beobachtungen über das „Kernholz" einiger anderen Holzarten (Aescul. Hippocast., Prun av., Cytis. Laburn., Diospyr. virginian.), „sei es, dass dasselbe in Folge von Verwundung, oder Frost, oder Alter, oder anderer unbekannten Ursachen sich gebildet habe" (l. c. S. 29). Immerhin sind die Untersuchungen Gaunersdorfer's, zumal über die Entstehungsweise und die Herkunft des Ausfüllungsstoffes, von hervorragendem Interesse, und ich werde später mehrfach Gelegenheit nehmen, auf dieselben zurückzugreifen.

Anscheinend ohne Kenntniss der vorstehend behandelten Untersuchung ist eine Arbeit Temme's[2]) ausgeführt, und diese ist es vorzugsweise, welche die hier vorliegende Frage um ein Bedeutendes fördert. Es handelte sich bei Temme zunächst darum, die physiologische Bedeutung der Gummibildung für die Pflanze aufzuklären, und er suchte dies zu erreichen, indem er den Bedingungen und Umständen, unter denen, und den Orten in der Pflanze, an denen diese Erscheinung eintritt, nachforschte; seine Untersuchung bezog sich zuvörderst auf den Kirschbaum (Prun. avium), bei dem, wie überhaupt bei den Amygdalaceen, die Gummibildung ja am

1) Man vergl. übrigens meinen bezüglich des Inhaltsstoffes von Syringa abweichenden Befund auf S. 64.

2) „Ueber Schutz- und Kern-Holz, seine Bildung und seine physiologische Bedeutung" in den Landwirthsch. Jahrb. XIV (1885), S. 465—484.

längsten bekannt und besonders hinsichtlich des dazu dienenden Materials am meisten erforscht ist (doch wurde die besonders durch Wigand[1]) und Frank[2]) bereits hinreichend aufgeklärte, auf Verflüssigung abnormer Gewebekomplexe beruhende stärkere, krankhafte Form der Gummosis des Kirschbaums ausgeschlossen). Temme fand nun, dass sich die Bildung von Gummi, die Erfüllung besonders der Gefässe, aber auch der übrigen Zellelemente des Holzes durch dasselbe, beim Kirschbaum jederzeit durch Verwundung irgend einer Stelle des Holzkörpers hervorrufen lässt (diese Thatsache ist übrigens auch schon in Frank's „Handbuch der Pflanzenkrankheiten“ und in Sorauer's „Handbuch der Obstbaumkrankheiten“ ausführlich erörtert), und, indem er weiter die Versuche auf andere, nicht den Amygdalaceen zugehörige Laubbäume (Gleditsch. triacanth., Juglans reg., Pir. mal., Querc. pedunc.) ausdehnte und bei allen wesentliche Uebereinstimmung mit dem Befund von Prun. av. feststellte, kam er zu dem verallgemeinernden Schluss, dass die Gummibildung ein als Folge von Verwundung bei allen Laubbäumen regelmässig eintretender Process sei; neben derselben beobachtete er schwache Membranfärbung und in einzelnen Fällen Auftreten von Thyllen. Die Identität des Ausfüllungsstoffes mit dem unlöslichen Gummi der Amygdalaceen wurde durch eine ganze Reihe von Reaktionen erwiesen: er war unlöslich in kaltem, wie heissem Wasser, ebenso in Kalilauge, Alkohol, Aether, Schwefelsäure, kalter Salpetersäure und kaltem Königswasser (welche letztere drei Mittel, besonders Schwefelsäure, starke Bräunung veranlassten), löslich dagegen in warmer Salpetersäure; Fuchsin, sowie Phloroglucin und Salzsäure bewirkten meist, nicht immer, intensiv rothe Färbung; besonders interessant und charakteristisch ist sodann die folgende Reaktion: etwa eine Viertelstunde hindurch mit Kaliumchlorat und verdünnter Salzsäure digerirt war das Gummi noch nicht aufgelöst, aber chemisch dergestalt verändert, dass es sich nun leicht in Alkohol löste,

---

1) „Ueber die Desorganisation der Pflanzenzelle, insbesondere über die physiologische Bedeutung von Gummi und Harz“ in Pringsheim's Jahrb. für wissensch. Botanik III (1863), S. 115—182.

2) „Ueber die anatomische Bedeutung und Entstehung der vegetabilischen Schleime“ in Pringsheim's Jahrb. V (1866), S. 25—64, und derselbe: „Die Krankheiten der Pflanze“, Breslau 1880.

also offenbar in ein, in gewisser Beziehung harzartiges Oxydationsprodukt übergeführt; länger fortgesetztes Digeriren mit jener Mischung wirkte gleichfalls lösend. Bezüglich der näheren Angaben über die von Temme schrittweise verfolgte Umwandlung des verletzten Holzes muss auf die Arbeit selbst verwiesen werden.

Was die — theilweise auch von Böhm[1]) und Gaunersdorfer[2]) bereits erkannte — physiologische Bedeutung solcher Veränderung des Holzes anbelangt, so sieht Temme — wie es ja nahe liegt — in dem Gummi, unter Hinweis auf die analoge Bedeutung der Harzbildung bei den Coniferen[3]), einen natürlichen Wundbalsam, der das Eindringen von Luft und Wasser in das tiefer liegende, gesunde Holz verhindern und dasselbe — indem so die durch die Verwundung (Oeffnung der Gefässe) bedrohte Abgeschlossenheit der Gefässluft gewahrt bleibt — zu seiner wichtigen Bestimmung im Leben der Pflanze — als wasserleitendes Gewebe zu dienen — tauglich erhalten soll. In einer vorläufigen Mittheilung über die unter seiner Leitung ausgeführte Temme'sche Untersuchung hat deshalb Prof. Frank[4]) dem an jeder Wundstelle zu findenden, sich makroskopisch durch mehr oder minder starke Braunfärbung erkennbar machenden Zustande des Holzes den Namen „Schutzholz“ beigelegt.

Weiter enthält die Temme'sche Arbeit dann aber einen Vergleich dieses Schutzholzes der genannten Laubbäume mit dem Kernholz je desselben Baumes, und zwar hat sich dabei stets zwischen beiden völlige Uebereinstimmung ergeben, im anatomischen Befund und in den Reaktionen des Inhaltsstoffes sowohl, wie hinsichtlich der physikalisch-physiologischen Veränderungen im Vergleich zum Splint. Schutz-, wie Kernholz zeigten nämlich ein erheblich höheres specifisches Gewicht, als der Splint (meist übertrifft hierin wieder der Kern das Schutzholz) und in beiden Zuständen erwies sich das

---

1) Botan. Ztg. 1879, S. 230.

2) l. c. S. 28.

3) Vgl. hierüber Frank's „Handbuch der Pflanzenkrankheiten“ I, S. 83 und 159 ff., wo sich zugleich die übrige Literatur erwähnt findet, sowie: de Vries: „Ueber einige Nebenprodukte des pflanzlichen Stoffwechsels“ in Landw. Jahrb. X (1881), S. 694—699.

4) „Ueber die Gummibildung im Holze und deren physiologische Bedeutung“ in Ber. d. D. Botan Gesellsch. 1884, II. Heft, S. 321—332.

Holz undurchlässig für Luft, wie Wasser — wiederum ja ein Gegensatz zu dem für beide Medien leicht wegsamen Splintholz. Gestützt auf diese Analogie sieht Temme auch in dem Kernholz eine Art Schutzholz mit der Bestimmung, bei der früher oder später eintretenden und allmälig zum Hohlwerden des Baumstammes führenden Zerstörung der centralen Partieen des Holzkörpers dem Verlust des luftdichten Abschlusses des Gefässsystems des Splints nach innen vorzubeugen.

Was seitdem in dieser Frage vorliegt, beschränkt sich, soweit mir bekannt geworden, auf zwei durch die Frank'sche Publikation veranlasste Notizen von Arthur Meyer[1]), bezw. von L. Kraus.[2]) Ersterer sah ähnliche Füllmasse, wie das vorbehandelte Schutzgummi, auch in den geöffneten Tracheen fleischiger Rhizome monocotyler Pflanzen (Veratrum); es findet sich ferner bei diesen Rhizomen, sowie auch bei Aconitum und Symphytum eine die Korkbildung vertretende, eigenthümliche Metamorphose der Wandungen der die dünne, schwarze Verkleidung der Pflanzentheile bildenden Parenchymzellen in eine weder in Alkohol, noch in heisser Kalilauge oder Chloroform lösliche und gegen Schwefelsäure äusserst resistente Substanz. Harz möchte Meyer dieselbe nicht nennen, aber auch die Bezeichnung „Gummi" wird von ihm beanstandet. — Kraus machte gelegentlich anderer Untersuchungen die Beobachtung, dass aus „blutenden" Weinreben" (es waren Abschnitte ober- und unterirdischer Stammtheile, sowie von Wurzeln verschiedener Dicke in nassen Sand gesteckt) zunächst wasserklarer Saft aus dem Holzkörper ausgeschieden wurde, dass dann aber bald aus den Gefässen eigenthümlich rothbraune, seltener gelbliche Tropfen einer dickflüssigen, zähen, an der Luft rasch erhärtenden Masse zum Vorschein kamen. Mikroskopische Untersuchung ergab in den Gefässen einen Wandbeleg oder grössere Massen gelbbräunlicher Substanz, bisweilen auch gelbe, glänzende Kugeln; an älteren Wandflächen waren sämmtliche Elemente des Querschnitts mit rothbrauner Substanz erfüllt. —

---

1) Bemerkungen zu dem Aufsatz von B. Frank: „Ueber die Gummibildung im Holze und deren physiologische Bedeutung". Ber. d. D. Botan. Gesellsch. 1884, S. 375—376.

2) „Ueber Ausscheidung der Schutzholz bildenden Substanz an Wundflächen", ebenda 1884, S. LIII und LIV.

Erwähnung verdient sodann die Thatsache, dass in der zweiten Auflage der „Grundlagen der pharmaceutischen Waarenkunde“ von Flückiger-Tschirch[1]) seitens des zweiten Autors bereits richtig unterschieden wird zwischen „pathologischem Gummi“, das seine Entstehung abnormen Gewebeumwandlungen verdanke, und das als arabisches Gummi, Traganth u. s. w. vielfache Anwendung findet, und „physiologischem Gummi“, wie es den Gegenstand der Temme-schen Arbeit bildet.

Veranlassung zu vorliegender Untersuchung gab nun die Erwägung, dass es nicht unerwünscht sein dürfte, im Anschluss besonders an die Temme'sche Arbeit die in der Schutzholzfrage bislang vorliegenden Daten auf ihr allgemeines Zutreffen zu prüfen, durch weitere Untersuchungen festzustellen, ob denn in der That die Gummi-Bildung im Schutz- und Kernholz der Laubbäume — nur um diese soll es sich auch hier handeln — eine so allgemeine Erscheinung ist, wie es dort hingestellt wird, und an der Hand möglichst zahlreicher Schutz- und Kernhölzer je derselben Pflanzenspecies von Fall zu Fall zu vergleichen, ob wirklich beide durch gleiche Umwandlung der anatomisch-physiologischen Verhältnisse des Splints entstehen. Hatte Temme, wie auch Böhm, Gaunersdorfer u. s. w. seine Beobachtungen wesentlich an einheimischen Bäumen angestellt, so sollte es sich bei mir vorzugsweise um Anwendung der vorbezeichneten Fragen auf durch lebhaft gefärbten Kern ausgezeichnete — zumeist ausländische — Gewächse handeln, deren Kernholz in der Pharmacie, Färberei und Tischlerei vielfache Anwendung findet.

Vorliegende Arbeit wurde im Pflanzenphysiologischen Institut der Kgl. Landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin auf Anregung des Herrn Professors Dr. Frank ausgeführt. Ich unterlasse nicht zu bemerken, dass das Thema bereits von einem anderen Herrn,

1) Berlin 1885, S. 145.

stud. rer. nat. Knigge, zu bearbeiten versucht wurde, der aber besonderer äusserer Verhältnisse halber bald dabei abbrechen musste. Genannter Herr hatte die Freundlichkeit, mir seine bis dahin gemachten Notizen zur Verfügung zu stellen, doch habe ich dieselben wesentlich nur bezüglich einer bestimmten Frage benützt, und auch hier nicht, ohne mich durch eigene Beobachtung von den Thatsachen zu überzeugen. Die betreffende Stelle meiner Arbeit ist durch eine Anmerkung gekennzeichnet.

Dagegen war es für mich von grossem Werth, dass ich bei Uebernahme der Arbeit schon von Herrn Knigge angebrachte, etwas ältere Verwundungen an den zur Untersuchung bestimmten Stämmchen im hiesigen Botanischen Garten vorfand. Abgesehen hiervon wurden dann aber auch zufällig sich vorfindende Verwundungen solcher Pflanzenspecies, deren Heranziehung zur Untersuchung sich wünschenswerth erwies, benützt. Ausser dem Botanischen Garten, dessen Verwaltung mir mit grosser Bereitwilligkeit begegnete, entstammt das Material an Schutzholz (und an zum Vergleich zu benützenden Splintholz) auch dem Versuchsgarten der Landwirthschaftlichen Hochschule (Prof. Frank). Die Verwundungen wurden, wo nicht anders erwähnt, in querer Richtung zur Längsaxe der Zweige angebracht. Schliesslich wurde zur Aushülfe auch noch junger Splint aus Material des Universitäts-Herbars untersucht, und letzteres gleichzeitig — in ein paar Fällen mit Erfolg — auf zufällige Wundstellen hin durchmustert.

Die zu untersuchenden Kernhölzer — womöglich mit daransitzendem Splint — wurden zum Theil der Sammlung des Pflanzenphysiologischen Instituts, zum Theil dem Landwirthschaftlichen Museum (Prof. Wittmack), zum Theil auch dem Botanischen Museum (Prof. Garcke) entlehnt. Ferner war auf meine Bitte hin Herr Hof-Apotheker Dr. Th. Peckolt in Rio de Janeiro so liebenswürdig, mir eine Sendung brasilianischer Holzabschnitte zukommen zu lassen; enthielt dieselbe auch nicht — wie es mir besonders erwünscht gewesen sein würde — Stellen mit in der Heimat der betreffenden Bäume, also unter ungleich günstigeren Umständen, als an den kleinen Stämmchen der Gewächshäuser des Botanischen Gartens, erwachsenem Schutzholz, so waren doch bei ein paar Species Splint, bezw. Kern für meine Zwecke verwendbar. Endlich

habe ich der Freundlichkeit des Herrn Direktors Dr. Treub, Buitenzorg (Java), zu gedenken, welcher gleichfalls Untersuchungsmaterial aus dem dortigen Botanischen Garten an mich absandte; leider ist dasselbe in Folge Schiffbruchs des betreffenden Dampfers im Suez-Kanal zu Grunde gegangen; eine mit nicht genug anzuerkennender Liberalität daraufhin zusammengestellte zweite Sendung ist bislang nicht eingetroffen. [1])

Allen den Herren, welche die Freundlichkeit hatten, mich durch Ueberweisung von Untersuchungsmaterial zu unterstützen, sage ich auch an dieser Stelle aufrichtigen Dank!

Weiter aber ist es mir eine angenehme Pflicht, dem hochverehrten Leiter meiner Arbeit, Herrn Prof. Dr. Frank, für die werthvollen Rathschläge, wie die mannigfache Unterstützung, womit er mir fortdauernd zur Seite gestanden, wärmsten Dank abzustatten! Auch dem Assistenten des Instituts, Herrn Docenten Dr. Tschirch, bin ich zu lebhaftem Dank verpflichtet.

Im Nachstehenden gehe ich nunmehr dazu über, der Reihe nach eine Besprechung der einzelnen, zur Untersuchung benützten Hölzer zu geben; es sind dieselben nach den Familien der Stammpflanzen geordnet, wobei ich der in Wiesner's „Die Rohstoffe des Pflanzenreiches" (Leipzig 1873) enthaltenen Aufstellung gefolgt bin; diesem Werke entstammen zum grösseren Theil auch die Handelsbezeichnungen der Holzarten, zum anderen Theil aber der „Synopsis der Pflanzenkunde" von Leunis-Frank (Hannover 1885). Nach regelmässiger Vorausschickung kurzer Angaben über den sich bei mikroskopischer Untersuchung ergebenden histiologischen Bau — dieselben sind, wo nicht anders bemerkt, stets auf Querschnitte zu beziehen — folgen Feststellungen über die Abweichungen im Befund des Kernholzes einerseits, des Schutzholzes andererseits gegenüber dem Splint und über das Verhalten der etwa vorhandenen Inhalts-

1) Nachdem inzwischen diese Sendung eingetroffen, behalte ich mir eine nachträgliche Mittheilung über die Untersuchung dieses Materials vor.

stoffe und Membranfärbungen bei Behandlung mit einer Anzahl von Reagentien, bezw. Lösungsmitteln. Nicht in allen Fällen war es übrigens möglich, alle drei genannten Zustände des Holzes einander gegenüberzustellen.

An die Besprechung der einzelnen Holzarten wird sich eine vergleichende Zusammenfassung der an denselben gemachten Beobachtungen anschliessen. Weiter werden dann einige andere, mit der vorliegenden mehr oder weniger eng zusammenhängende Fragen, gestützt auf gewisse auch hierüber angestellte Versuche, zu erörtern sein.

A. Caesalpiniaceen.

1. Haematoxylon Campechian. L.

I. Die Droge: Lign. Campechian., Campeche-, Blau- oder Blutholz.

Die aus der Institutssammlung vorliegende, etwa fingerdicke Querscheibe besteht ausschliesslich aus Kernholz; dasselbe ist schmutzig-rothbraun gefärbt, auf frischer Schnittfläche reiner tiefroth. Bei mikroskopischer Untersuchung von Querschnitten zeigen die die Hauptmasse des Holzes ausmachenden Holzzellen stark verdickte Wandungen und ein nur sehr kleines Lumen; ihre Reihen werden öfters unterbrochen durch ein in tangentialer Richtung angeordnetes, besonders in der Umgebung der Gefässe reichlicher auftretendes weitmaschiges Holzparenchym. Die Markstrahlen setzen sich aus einer oder gewöhnlicher 3 bis 5 Reihen radial gestreckter Zellen zusammen; die Gefässe liegen meist einzeln, oder aber zu zweien zusammen, sie sind von erheblicher Weite, und ihre stark verdickten Wandungen getüpfelt. Bei der Mehrzahl der Gefässe ist das Lumen erfüllt von einer gelben bis rothbraunen Inhaltsmasse, und die nämliche Erscheinung zeigen auch die übrigen Zellelemente, der Inhalt der Markstrahlen zeichnet sich meist durch besonders dunkle Farbe aus. Ausserdem aber sind sämmtliche Zellmembranen tiefgelb bis röthlich gefärbt; es begreift sich, dass das dünnwandige, weit-

maschige Holzparenchym sich mit lichter gelber Farbe gegen das übrige Gewebe abhebt. Der Inhaltsstoff der Zellen, besonders der Gefässe zeigt sich unlöslich in kaltem, wie siedendem Wasser[1]), ebenso widersteht er der Einwirkung von — auch heiss angewandtem — Alkohol und Aether, sowie von verdünnter Schwefelsäure (1 Volum conc. Schwefels. + 3 Vol. Wasser) und Kalilauge; werden dagegen Schnitte mit Kaliumchlorat und verdünnter Salzsäure eine Viertelstunde digerirt, so sind einzelne Ausfüllungen bereits gelöst, die noch verbliebenen aber lösen sich nunmehr leicht in Alkohol; der Ausfüllungsstoff des Campecheholzes zeigt also ganz die von Temme angegebenen Reaktionen der in Wasser unlöslichen Modifikation des Gummis.

Was nun die Beschaffenheit der Membran anbetrifft, so geben dünne Scheiben (Hobelspäne) des Holzes schon an kaltes Wasser Farbstoff ab und färben dasselbe schön roth; ebenso erscheinen, natürlich mit abnehmender Intensität, mehrere neue Auszüge mit neuen Mengen Wassers, doch ist eine völlige Erschöpfung des Farbstoffes auch durch heisses Ausziehen nicht zu erzielen, es bleibt vielmehr stets eine Rosafärbung der Membranen bestehen. Aehnlich wirkt Alkohol; die dadurch erzielte Lösung zeigt eine lebhaft gelbröthliche Farbe, die nachfolgenden Auszüge spielen mehr ins Violetröthliche; nach öfterer Einwirkung des siedenden Mediums behalten die Membranen nur eine schwache, trübröthliche Färbung. Aether löst gewisse Antheile des Farbstoffes mit rein gelber Farbe, doch in ungleich schwächerem Maasse, als Wasser und Alkohol, denn die mit Aether behandelten Schnitte sind fast unverändert stark gefärbt. Kalilauge löst den Farbstoff mit tiefblauer Farbe, der mit

---

1) Ueber die Art, in welcher diese Lösungsmittel durchweg angewandt wurden, sei hier das Folgende bemerkt:

Zunächst wurden je ein oder mehrere Schnitte mit Wasser, Alkohol, Aether, verdünnter Schwefelsäure, Kalilauge 24 Stunden bei gewöhnlicher Temperatur unter bisweiligem Umschütteln in verschlossenen Reagensgläsern stehen gelassen; war danach eine Lösung nicht erfolgt, so erhitzte ich dieselben Schnitte mit bzw. Wasser, Alkohol, Aether etwa 5 Minuten zum wirklichen Sieden und musterte sie danach wiederum unter dem Mikroskop. Die verdünnte Schwefelsäure kam meist nur kalt zur Verwendung, ebenso Kalilauge; wo letztere auch heiss einwirkte, ist dieses besonders bemerkt. Von der Anwendung concentrirter Schwefelsäure sah ich bald ab, da dieselbe zu energisch einwirkte.

Wasser nachgewaschene Schnitt erscheint missfarbig - hellröthlich. Verdünnte Schwefelsäure wird durch darin macerirte Schnitte schön rosenroth gefärbt, die mit Wasser abgewaschenen Schnitte aber sind lebhafter gelbroth, als zuvor. Das Gemisch aus Kaliumchlorat und verdünnter Salzsäure entfärbt die Membranen des gesammten Gewebes sehr bald völlig.

II. Holz der lebenden Pflanze (aus dem Botanischen Garten).

a. Gesundes Splintholz eines zweijährigen Zweiges.

Die Zellen des auch hier die sehr zahlreich auftretenden Gefässe umgebenden, tangentiale Reihen bildenden Holzparenchyms enthalten, ebenso wie die der Markstrahlen (und des Marks) reichlich Amylum und zwar in auffallend grossen Körnchen. Dagegen sind in diesem Splintholz weder in den Gefässen, noch sonst irgendwelche gefärbte Ausfüllungen zu bemerken, und das ganze Gewebe erscheint hellholzfarben.

b. Schutzholz.

Als solches lag eine sieben Monate alte Querverwundung desselben jungen Zweiges vor, dessen unterm Theile der vorbeschriebene normale Splint entstammte. Es war deutlich sichtbare Dunkelung eingetreten, die jedoch nur etwa 5 mm hinabreichte. Mikroskopische Querschnitte (Fig. 1, Taf. I) zeigen in allen Elementen: Gefässen, Holzzellen, Markstrahl- und Holzparenchym-Zellen homogene Ausfüllungen von mehr oder minder dunkelgelber bis gelbbräunlicher Farbe; die Mehrzahl der Gefässe ist bereits völlig mit der Masse erfüllt, einige andere dagegen weisen ein früheres Stadium auf: hier bildet die Gummi-Substanz — denn als solche erweist sie sich auch hier — kleinere oder grössere, ins Lumen ragende Tropfen oder einen Wandbeleg (wie dies schon von Prillieux[1]) und Temme an Kirsch- und an anderen einheimischen Bäumen beschrieben worden ist). Die Ausfüllungen sind unlöslich in kaltem, wie siedendem Wasser, Alkohol und Aether, sowie in verdünnter Schwefelsäure und Kalilauge; dagegen tritt wiederum die Temme'sche Reaktion ein —

1) Annal. des scienc. naturell., ser. XVI a, p. 186.

so möchten wir das auch schon beim Kernholz angegebene charakteristische Verhalten des Gummistoffs, sich nach $^1/_4$ stündiger Digestion mit $KClO_3 + HCl$ in Alkohol zu lösen (bei weiterer Einwirkung jenes Mittels auch schon in diesem selbst) der Kürze wegen bezeichnen. — Weiter aber zeigen die Schutzholz-Querschnitte auch deutliche Röthlichgelbfärbung der Membran; dieselbe ist noch nicht über die ganze Fläche gleichmässig vertheilt, tritt vielmehr wesentlich zonenweise auf, und auch hier ist sie ungleich schwächer, als im Kernholz, aber es gelingt in interessanter Weise die Identität mit dem Kernholz-Farbstoff darzuthun: wie sich letzterer beim Campecheholz ja dadurch bekanntlich auszeichnet, durch Aetzalkalien tiefviolett, bezw. blau gefärbt zu werden, so nimmt auch jene röthlichgelbe Zone des Schutzholzes beim Hinzutretenlassen von Kalilauge unter das Deckglas deutlich violette Färbung an, um sich bald darauf zu lösen, ferner schlägt die röthlichgelbe Färbung bei Zusatz von Salzsäure in reiner roth um.

Es mag noch erwähnt werden, dass das Holz an einer Wundstelle eines aus dem Herbarium stammenden Stengelchens in dem reichlichen Auftreten des gelben Gummi-Inhaltsstoffes, wie hinsichtlich der schwachen Membranfärbung sich in voller Uebereinstimmung mit dem vorstehend beschriebenen Schutzholz befand.

2. Caesalpin. echinat. Lam.

I. Die Droge: Lign. Fernambuc.. Fernambuk- oder Brasilienholz, Südamerikan. Rothholz z. Th.

Ein zunächst untersuchtes Holzmuster der Instituts-Sammlung wies nur tief braunrothen Kern auf. — Die Holzzellen erscheinen auf mikroskopischen Querschnitten stark verdicktwandig, mit oft nur punktförmigem Lumen; Hp[1]) tritt in 1—3 reihigen tangentialen Zonen ziemlich dünnwandiger Zellen und besonders reichlich in der Umgebung der Gefässe auf; letztere, von mässigem Durchmesser, liegen einzeln, oder häufiger in kleinen radialen Gruppen, ihre Wandungen sind quergetüpfelt; die Mkstr.[1]) verlaufen in 1 bis

1) Ich gebrauche von hier ab öfters die Abkürzungen: Hp. für Holzparenchym, Mkstr. für Markstrahlen, Gef. für Gefässe, KOH für Kalilauge.

3 Reihen etwas geschlängelt. Die Gefässe sind oft erfüllt von einem homogenen, bräunlichrothen Inhalt; das Gleiche gilt von den Holzzellen; dagegen ist die dunkle Färbung, durch welche die Mkstr. hervortreten, weniger einem Ausfüllungsstoff zuzuschreiben, der übrigens auch hier, besonders deutlich auf Längsschnitten, beobachtet wurde, als vielmehr einem die Membran derselben, sowie sämmtlicher Holzelemente gelb-, bezw. braunroth tingirenden Farbstoff. Siedendes Wasser löst letzteren mit gelber Farbe, so dass genügend dünne Schnitte nach der Behandlung damit fast farblos erscheinen. Ebenso wirkt Alkohol schon bei kalter, mehr noch bei siedender Anwendung; der dadurch erzielte Auszug zeigt mehr bräunlichgelbe Farbe. Auch Aether löst, wennschon langsamer, Farbstoff mit gelber Farbe. Verdünnte Schwefelsäure lässt die Membranfärbung zunächst noch schöner roth erscheinen, wirkt dann aber auch mit gelbrother Farbe lösend ein. KOH färbt sich sogleich schön roth. Im Gegensatz hierzu ist der Inhaltsstoff, besonders der Gefässe in allen genannten Mitteln durchaus unlöslich, und selbst der Einwirkung des Gemisches aus $KClO_3 + HCl$ widersteht er sehr energisch.

Später konnte ich noch ein Stück „Rothholz" aus dem Landwirthschaftlichen Museum untersuchen, welches neben vorwiegendem Kern doch auch eine kleine Zone Splintholz aufwies. Letzteres erscheint makro-, wie mikroskopisch durchaus hellfarbig. Bei Durchmusterung zahlreicher Schnitte wurden ganz vereinzelt Gefässe mit einem hier aber hellgelb gefärbten Inhaltsstoff erfüllt gefunden; in der Uebergangszone trat letzterer schon etwas häufiger auf. Das Kernholz zeigte dann auch hier, wie bei dem oben behandelten Muster, tiefgelbrothe Färbung sämmtlicher Membranen und auch im Uebrigen völlige Uebereinstimmung.

II. Holz der lebenden Pflanze (aus dem Botanischen Garten).

a. Gesundes Splintholz eines zweijährigen Zweiges.

Die Holzzellen zeigen hier noch nicht die starke Membranverdickung des alten Holzes, die Mkstr. treten wenig deutlich hervor, die Gef. sind sehr weit und mässig zahlreich. Das ganze Ge-

webe ist durchaus hellfarbig, und die Lumina der Zellen zeigen — abgesehen von in Mkstr.- und Hp-Zellen reichlich auftretendem Stärkmehl — keinerlei Inhalt.

b. Schutzholz.

Ein querverwundeter junger Zweig, sieben Monate nach der Verwundung abgeschnitten, zeigte beim Längsaufspalten den Eintritt der Schutzholzbildung durch gegen das gesunde Holz scharf abgegrenzte Dunkelung, bezw. schwache Röthung an, doch ist die Färbung mikroskopischer Schnitte zu schwach, um sie mittels Reagentien weiter zu verfolgen. Dagegen sind besonders die Gefässe, aber auch Holz-, Mkstr.- und Hp-Zellen erfüllt von einem homogenen gelben bis bräunlichrothen Inhalt, der sich durch Unlöslichkeit in siedendem Wasser, Alkohol und Aether, sowie in verdünnter Schwefelsäure und KOH, Löslichkeit aber in Alkohol nach vorgängiger Behandlung mit $KClO_3 + HCl$ als Gummi erwies.

Die an Caesalpin. echinat. gemachten Beobachtungen fanden weitere Bestätigung durch solche an Coulteria tinctor. Kunth (= Caesalpin. tinctor. DC.), einer im äusseren Habitus, wie im anatomischen Bau des Holzes grosse Verwandtschaft zu erstgenannter Species zeigenden Pflanze, welche nach Leunis-Frank gleichfalls Rothholz liefert.

Es konnte auch hier Splint- und Schutzholz verglichen werden, bezüglich beider trafen sämmtliche oben für Caesalpin. echin. gemachten Angaben ein, so besonders deutlich beim Gummi-Ausfüllungsstoff die Temme'sche Reaktion.

3. Caesalpin. Sappan L.

(Sappanholz, Ostindisches Rothholz.)

I. Splint- und Kernholz.

Das Botanische Museum lieferte einen kleinen Kernholzabschnitt mit sehr schmaler Splintzone daran. Letztere ist holzfarben, der Kern gelbroth gefärbt. — Die Holzzellen sind stark verdickt; Hp. tritt wesentlich nur um die Gef. herum auf, letztere sind ziemlich zahlreich, öfters in kleinen Gruppen zusammenliegend und theilweise von erheblicher Weite; die Mkstr. sind ein- oder auch mehrreihig. — Da, wie gesagt, der Splint nur als schmale, an das Kernholz

grenzende Uebergangszone vorhanden ist, so treten schon hier in Mkstr.-Zellen und bisweilen auch in Gefässen gelbliche Ausfüllungen auf; die Zellmembranen aber sind durchaus hell. Im Kern sind die Ausfüllungen der Gefässe u. s. w. von dunkeler, mehr rothgelber Farbe, und ausserdem sämmtliche Membranen gelbröthlich gefärbt. Der Zellinhalt zeigt wieder das Verhalten des Gummis, insbesondere wird er durch das Gemisch aus $KClO_3 + HCl$ alkohollöslich gemacht. Die Membranfärbung erweist sich in den üblichen Lösungsmitteln löslich, ohne jedoch völlig durch dieselben ausgezogen zu werden. In Wasser geht sie — bei mit feinen Hobelspänen angestellten Versuchen — mit schöner Rosafärbung über, siedendes Wasser färbt sich tiefer roth; zahlreiche neue Auszüge zeigen gleichfalls lebhafte Färbung, ohne dass jedoch, wie gesagt, die Membranen völlig entfärbt würden; Zusatz von KOH zur wässerigen Farbstoff-Lösung ruft noch tiefere Rothfärbung hervor, HCl verändert weniger, etwas in gelbroth. Alkohol färbt sich mit den Spänen kalt, wie heiss rein gelb, welche Farbe bei KOH-Zusatz jedoch in tiefroth umschlägt. Das Gleicbe trifft bei dem an sich gelben Aether-Auszuge ein. Verdünnte Schwefelsäure färbt sich rosa, KOH löst mit sehr intensiv rother, ins Violette spielender Farbe, doch war auch hier völlige Erschöpfung nicht zu erzielen.

II. Schutzholz.

Aus dem Botanischen Garten lag ein etwa federkieldicker Zweig mit einer Schnittfläche unbekannten Alters vor. — Der anatomische Bau des jungen Holzes zeigt nichts besonders Bemerkenswerthes, nur sind die Holzzellen desselben weit weniger verdicktwandig, erheblich weitmaschiger, als im vorbeschriebenen älteren Holz. Im Schutzholz treten die uns nun schon bekannten Ausfüllungen reichlich auf: besonders die Gefässe zeigen einen citronen- bis bräunlichgelbgefärbten Inhaltsstoff, der entweder das ganze Lumen erfüllt, oder einem verschieden grossen Theile der Gefässwand als Beleg ansitzt, oder aber tropfenförmig in den Innenraum hineinragt. Diese letztere Erscheinung, welche ja für die Deutung der Entstehungsweise, bezw. der Herkunft des Inhaltsstoffes, die später im zusammenfassenden Theile noch zu berühren sein wird, von besonderer

Wichtigkeit ist, fand sich hier wiederholt sehr deutlich vor. Das Verhalten des Inhalts gegen Lösungsmittel war das mehrerwähnte des Gummis; mit Phloroglucin und HCl färbte er sich schön roth.

Beim Spalten des Schutzholzes in der Längsrichtung zeigt dasselbe leichte Röthung, und auch auf mikroskopischen Schnitten ist die eingetretene Veränderung des Holzes als lichte Gelbfärbung der Membranen wahrzunehmen. Die Thatsache, dass diese Färbung bei Einwirkung von Säuren (conc. HCl) lebhaft gelbroth erscheint, andererseits durch KOH in violettröthlich verwandelt wird, dann allmälig sich löst, rechtfertigt es gewiss, in ihr den Anfang der Bildung des Kernholz-Farbstoffes zu sehen.

4. Baphia nitida Afzel.
(Afrikanisches Rothholz, Camwood).

(Es konnte hier zwar nicht Kern- und Schutzholz verglichen, sondern nur Kernholz [und Uebergangs-Splint] behandelt werden, da die Pflanze im Botanischen Garten nicht vorhanden war, doch hielt ich auch mit dieser Einschränkung die vergleichende Heranziehung eines weiteren „Rothholzes“ für nicht unzweckmässig.)

Das ziemlich grosse, unregelmässige Stammstück aus dem Landwirthschaftlichen Museum besteht fast ausschliesslich aus Kernholz von ähnlich rother Farbe, wie das Campecheholz; nur am Umfang finden sich ein paar schmale Stellen Splint von gewöhnlicher Holzfarbe. Das Holz lässt weder radiale, noch concentrische Zeichnung erkennen.

a. Splint.

Die Holzzellen zeigen ein infolge weitgehender Membranverdickung sehr reducirtes Lumen. Hp. tritt reichlich auf; es bildet einander ziemlich genäherte, mehr-, meist dreireihige, geschlängelt-tangential verlaufende Binden. Die Mkstr. scheinen stets einreihig zu sein und bestehen aus ziemlich langgestreckten, weniger breiten Zellen. Die Gefässe sind von ziemlicher Grösse, mässig zahlreich; sie werden meist erfüllt von einem hellgelben Inhalt, die übrigen Zellelemente zeigen sich leer, nur, wo sie unmittelbar an den Kern grenzen, ist auch ihr Lumen öfters erfüllt mit der beim Kernholz zu behandelnden Ausfüllung.

b. Kern.

Während der Splint farblos ist oder doch nur die gewöhnliche gelbliche Holzfarbe zeigt, sind im Kern sämmtliche Zellmembranen schön lebhaft roth (mit gelblichem Ton) gefärbt, und dieselbe Farbe zeigen auch die hier reichlicher auftretenden Ausfüllungen, besonders in den Gefässen, daneben aber auch in Hp.- und bisweilen in Holzzellen. — Die Membranfärbung mikroskopischer Schnitte bleibt beim Kochen mit Wasser, Alkohol, Aether bestehen, wennschon sie offenbar schwächer wird, und ein Theil des Farbstoffes in Lösung geht. Heiss angewandte Kalilauge löst dagegen völlig, die damit behandelten Schnitte erscheinen farblos oder schwach gelblich. Verdünnte Schwefelsäure lässt die Membranen eher lebhafter roth erscheinen.

Der Inhaltsstoff ist in allen diesen Mitteln unlöslich; durch $KClO_3 + HCl$, welche Mischung den Farbstoff bleicht, wird er nur schwer gelöst, aber nach einiger Zeit alkohollöslich gemacht.

Bezüglich des Farbstoffes wurden auch mit Hobelspänen einige Versuche angestellt: Wasser färbt sich mit denselben kalt gelb, ins Bräunliche, beim Kochen dunkler; durch Ansäuern mittels HCl wird die Farbe des abgegossenen Auszugs nicht wesentlich verändert, durch KOH dagegen in tiefbräunlichroth verwandelt. Auch ein zweiter, dritter und vierter Auszug derselben Späne war noch deutlich gefärbt, aber auch dann, als kein Farbstoff mehr in das Wasser überging, zeigten sich die Schnitte makro- wie mikroskopisch noch lebhaft roth, fast ohne sichtliche Veränderung.

Alkohol giebt schon kalt, sogleich beim Uebergiessen, eine sehr schön rothe, klare Lösung, und Kochen ist ohne merklichen weiteren Einfluss; HCl, zum Auszug zugefügt, macht den rothen Farbenton vielleicht noch etwas lebhafter, während KOH hier dieselbe Wirkung, wie beim wässerigen Auszug, hat. Die späteren Alkoholauszüge fallen mehr gelb aus; die rückständigen Schnitte zeigen nur noch verhältnissmässig schwache, ins Röthliche gehende Gelbfärbung. Aether färbt sich schon kalt bräunlichgelb (Gegensatz zu Alkohol!); nach wiederholter Behandlung damit bleibt die Membranfärbung noch deutlich bestehen. Verdünnte Kalilauge färbt sich mit den Schnitten tiefrothweinfarben (nach erheblicher Verdünnung etwa mit dem Ton des Alkoholauszuges); nach dem

Abgiessen der Lösung, Nachwaschen derselben mit Wasser und nochmaliger Behandlung mit KOH, dann Wasser, war die rothe Färbung fast völlig entfernt und die Kernschnitte zeigten Splintfarbe. Verdünnte Schwefelsäure nimmt nur gelbröthlichen Ton an, und die Membranfärbung bleibt nach wie vor bestehen. — Wesentlich in gleicher Weise, wie die Färbung der Zellmembran, verhielt sich den Lösungsmitteln gegenüber auch die erwähnte röthliche Färbung des Gummi-Inhaltsstoffes, während letzterer selbst auch bei diesen Versuchen mit Raspelspänen durchaus unlöslich sich erwies.

B. Papilionaceen.

5. Pterocarp. Santalin. L. fil.

(Rothes Sandelholz, Caliaturholz.)

I. Kernholz.

(Ausschliesslich aus solchem bestand nämlich das Stück der Institutssammlung, wie auch das aus dem Landwirthschaftlichen Museum erhaltene Muster.)

In Ergänzung des schon verhältnissmässig aufklärenden makroskopischen, bezw. Loupenbildes ergiebt die mikroskopische Betrachtung von Querschnitten das Folgende: Die Holzzellen sind meist sehr stark verdickt und zeigen ein in der Weite ziemlich schwankendes, oft unregelmässig verzerrtes Lumen. Unterbrochen werden die Holzzellreihen durch reichlich vertretenes Hp, aus welchem die schon dem blossen Auge erkennbaren, unregelmässig tangential verlaufenden helleren Linien bestehen, diese setzen sich aus bis zu 5 Reihen weniger stark verdickter Zellen mit — im Vergleich zu dem der Holzzellen — grösserem Lumen zusammen. Die Mkstr., welche aus einer, seltener zwei Reihen mehr radial gestreckter, als breiter Zellen bestehen, sind sehr zahlreich und einander oft sehr genähert, so dass sie häufig durch die auffallend weiten, öfters die Breite mehrerer Holzlamellen einnehmenden Gefässe zum Ausbiegen, bezw. Aussetzen veranlasst werden. Die Gef. erreichen nämlich eine Weite von mehr als 300 mmm; ihre Wandung ist stark verdickt und mit deutlichen Tüpfeln bedeckt; sie sind im Allgemeinen ziem-

lich gleichmässig über den ganzen Querschnitt verbreitet, die grossen Gef. liegen meist einzeln, die übrigen aber auch in unregelmässigen Gruppen von zwei bis vier vereinigt. — Die Membranen sämmtlicher Zellelemente des rothen Sandelholzes sind tiefroth gefärbt; sodann finden sich in Mkstr.-, Hp.- und Holzzellen kleine, rothe Farbstoffkörnchen abgelagert, die sich schon bei kalter Einwirkung von Alkohol, Aether, KOH lösen, in letzterem Mittel besonders deutlich mit lebhaft rother Farbe; dagegen erwiesen sie sich unlöslich in verdünnter Schwefelsäure, wie auch in conc. HCl. In den Gefässen fanden sie sich nicht, dagegen waren einzelne Gef. erfüllt mit einem mehr gelblichen Inhalt, der sich in Uebereinstimmung mit dem in anderen Hölzern auftretenden Gummi unlöslich in Wasser, Alkohol, Aether, KOH zeigte. Der grossen Mehrzahl nach aber scheinen die grossen Gef. des Sandelholzes auffallenderweise leer zu sein (auch nicht erfüllt durch Thyllen). Es bereitet übrigens der grossen Härte des Holzes und der so auffallenden Grösse seiner Gefässe wegen bei Anfertigung sowohl von Quer-, wie Längsschnitten nicht geringe Schwierigkeit, ein Präparat mit unversehrten Gefässen zu erzielen.

Bezüglich des Membranfarbstoffes ergab sich bei mit feinen Hobelspänen angestellten Versuchen das Folgende: Wasser färbt sich kalt nur sehr schwach rosa, siedend deutlich gelbröthlich; Zusatz von KOH zum wässerigen Auszug lässt die Farbe bedeutend intensiver roth erscheinen; die rückständigen Späne zeigen keine merkliche Abnahme der Färbung. Alkohol nimmt schon bei kalter Einwirkung etwa Rothweinfarbe an, heiss daher nicht wesentlich anders; KOH führt die Farbe des Auszugs in tiefkarmoisinroth (ins Violette) über, HCl stellt die erstere Farbe wieder her. Als nach öfterem Auskochen mit neuen Mengen Alkohol dieser selbst beim Kochen farblos blieb, waren die Membranen der rückständigen Schnitte doch noch stark gefärbt, wennschon deutliche Abnahme der Färbung erkennbar war; KOH zieht diese rückständigen Späne noch mit röthlicher Farbe aus. Aether färbt sich kalt wie heiss lebhaft gelb (mit röthlichem Stich); mit Kalilauge durchgeschüttelt färbt sich der Auszug schön roth, während die alkalische Flüssigkeit sich mit noch ungleich tiefer rother Farbe unter der Aetherschicht ansammelt; auch hier wird der Farbstoff nicht völlig ausgezogen.

KOH wird schon beim Maceriren äusserst intensiv karmoisinroth, dieser Auszug schlägt beim Uebersäuern mit HCl in hellroth um; übrigens vermag selbst dieses offenbar am energischsten auf den Farbstoff lösend wirkende Alkali keine Erschöpfung desselben herbeizuführen, die damit behandelten Membranen behalten eine allerdings mehr bräunlichgelbe, als rothe Färbung bei.

Splint war an dem vorbehandelten Stück, wie gesagt, nicht vorhanden. Ein als „Sandelholz“ aus dem Botanischen Museum erhaltenes kleines Stück hellgelblichen Holzes war, wie die mikroskopische Untersuchung ergab, nicht der gewünschte Splint von Pterocarp. Santalin., sondern stammte offenbar von Santal. album L., einer Santalacee, die mit der Papilionacee Pteroc. Santalin. nichts gemein hat, und deren Holz unter dem Namen „weisses“ oder auch „gelbes Sandelholz“ in der Parfümerie, sowie als Kunstholz Verwendung findet (das Oel neuerdings auch als Arzneimittel). Anatomisch unterscheidet sich dieses Holz von dem rothen Sandelholz besonders durch die ungleich engeren Gefässe und das weit beschränktere Auftreten von Hp.

Es ist übrigens bekannt, dass auch bei Pteroc. Santal. der Farbstoff auf das Kernholz beschränkt ist, und der Splint (welcher eben deshalb von der zum Färben bestimmten Handelswaare entfernt wird) die gewöhnliche Holzfarbe besitzt.

Material aus dem Botanischen Garten war nicht zu erhalten, dagegen lieferte

II. Herbar-Material

einmal jungen Splint, welcher durch die Farblosigkeit sämmtlicher Membranen das bezüglich desselben Vorhergesagte bestätigte, und sodann eine Wundstelle, welche die Anfänge der Schutzholz-Bildung zeigte.

Vorzugsweise nämlich nur erst in den auffallend grossen Gefässen der Markkrone (in denen nach verschiedenen Beobachtern [1]) die Schutzgummi-Bildung zuerst auftritt) fand sich eine homogene, lebhaft röthlichgelb gefärbte Ausfüllungsmasse vor, weniger häufig

1) Vgl. z. B. Gaunersdorfer l. c. S. 19 und 20.

in den erheblich kleineren, meist zu mehreren in radialer Richtung hinter einander liegenden Gefässen des äusseren Holzes, sowie auch stellenweise in Mkstr.- und Holzzellen; die Ausfüllung erweist sich bei den Löslichkeitsversuchen als Schutzgummi. — Färbung der Membranen ist in diesem frühen Stadium der Schutzholzbildung, in dem sich der betreffende Zweig beim Abschneiden des Herbar-Exemplars offenbar befand, noch nicht bestimmt zu constatiren.

6. Adenanthera pavonina L.
(Condoriholz.)

1. Aus dem Landwirthschaftlichen Museum

erhielt ich ein grosses Stück Kernholz, umgeben von einer verhältnissmässig schmalen Schicht Splint.

a. Splint.

Aus dem angegebenen Grunde ist die äussere Schicht des Sammlungsstückes vielleicht nicht sowohl als normaler Splint, als vielmehr als Uebergangszone anzusehen. Mikroskopische Schnitte zeigen ein fast farbloses oder — wenn etwas dicker — ein hellgelbliches Gewebe, in welchem ganz vereinzelte Gefässe mit hellgelber Inhaltsmasse auftreten, ebenso einzelne Mkstr.-Zellen. Es zeichnet sich das Holz dieser Papilionacee aus durch sehr reichliches Auftreten von auffallend weitmaschigem Hp.; fast in regelmässiger Weise wechseln tangentiale Zonen desselben mit solchen aus — gleichfalls nur mässig verdicktwandigen — Holzzellen ab. Die Gef. sind von sehr beträchtlicher Weite, so dass auf einer glatten Schnittfläche fast mit blossem Auge, jedenfalls mit schwacher Loupe, die ausgefüllten von den leeren unterschieden werden können. Die Mkstr. verlaufen ziemlich geradlinig und sind ein- bis zweireihig.

b. Kern.

Der sich makroskopisch vom holzfarbenen Splint durch tiefbraune Färbung deutlich abhebende Kern ist ausgezeichnet durch das Auftreten eines gelben bis gelbbräunlichen Farbstoffes in den Zellmembranen. Besonders stark gefärbt erscheinen, abgesehen von den Gefässen, die dicken Holzzellmembranen, und da überdies die Lumina dieser Zellen überwiegend mit gelbbräunlicher bis fast schwarzer Inhaltsmasse erfüllt sind, so erklären sich hieraus die

bei Betrachtung einer Querschnittsfläche des Holzes auffallenden dunkleren und helleren tangentialen Zonen, welch letztere aus dem schon erwähnten weitmaschigen, dünnwandigen Hp. bestehen; in letzterem tritt der Ausfüllungsstoff selten auf, ebenso in den Mkstr. Der Inhalt der Gefässe erscheint verschieden dunkel rothbraun, sehr massig, etwas splittrig; wenn daneben andere Gef. leer erscheinen, so hat man sich doch immer zu vergegenwärtigen, dass die auf dem betreffenden mikroskopischen Schnitt leer erscheinenden Gef. an einer höher oder tiefer gelegenen Stelle des Gefässrohres vielleicht ausgefüllt sind, wie dies in der That auf Längsschnitten überzeugend zu beobachten ist.

In den mehrfach genannten Lösungsmitteln unlöslich, wird der Inhaltsstoff durch Behandlung mit $KClO_3$ + HCl alkohollöslich gemacht, auch bei längerer Einwirkung jener Mischung aufgelöst.

Der in den Zellmembranen abgelagerte Stoff färbt bei Behandlung von Hobelspänen mit kaltem Wasser das letztere bräunlichgelb; beim Sieden nimmt die Intensität der Farbe etwas zu, doch bleibt auch so deutliche Braunfärbung der Schnitte bestehen. Alkohol färbt sich kalt wie heiss schön braunroth, doch ist auch hier die Lösung eine unvollkommene. Aether löst weniger und nimmt nur schwach gelbe Farbe an. KOH wird sehr stark braun gefärbt, und die damit macerirten Schnitte zeigen denn auch (nachdem die dunkele Lösung durch Wasser nachgewaschen ist) nur noch schwache Färbung. Verdünnte Schwefelsäure färbt sich kaum merklich, und die Schnitte behalten wesentlich das frühere Aussehen.

II. Lebende Pflanze aus dem Botanischen Garten.

a. Splint.

Der von Knigge verwundete Zweig wurde nach 7 Monaten abgeschnitten, Umstände halber (des Wuchses des betreffenden Stämmchens wegen und sodann in der Absicht, später nochmals die neue Wundfläche abzuschneiden) aber nur recht kurz, so dass die Untersuchung des anderen Endes des abgeschnittenen Stückes darauf hinwies, dass dasselbe noch nicht als gesunder Splint gelten konnte. Es erscheint freilich durchaus hellfarben, aber zahlreiche Gefässe sind erfüllt von einer homogenen, meist citrongelben, seltner

dunkleren Masse. Hinsichtlich des anatomischen Baues fällt das Gewebe dadurch auf, dass die Mkstr. nicht deutlich hervortreten, und auch die Gliederung in Holzzellen und Hp eine undeutliche ist.

b. Schutzholz.

An dem anderen Ende obigen Astes, welches also 7 Monate altes Schutzholz darstellt, erwiesen sich nicht nur die Gef., sondern auch sämmtliche andere Arten von Zellelementen des Holzes mit jenem mehr oder weniger dunkelgelben Stoff verstopft; derselbe ist zwar meist von homogener Beschaffenheit, stellenweise, besonders in den Mkstr., aber auch etwas körnig.[1]) Daneben ist Braunfärbung der Membranen wahrzunehmen. Der Ausfüllungsstoff erweist sich durch die bekannten Reaktionen als Gummi (und sonach als identisch mit dem die Elemente des Kernholzes erfüllenden Stoff); insbesondere tritt Temme's Reaktion deutlich ein.

Endlich lag

III. Ein von Herrn Hof-Apotheker Dr. Peckolt aus Rio de Janeiro gesandtes Aststück

von etwa 4 cm Durchmesser vor. Es war das insofern von Wichtigkeit, als hier an normalem Splintholz konstatirt werden konnte, dass in solchem — im Gegensatz zu „Splint" I und II — jene Ausfüllungen nicht auftreten; die Gef., wie die übrigen Zellelemente erwiesen sich leer, die Membranen farblos. Der anatomische Bau befindet sich in Uebereinstimmung mit dem unter I und II Angegebenen.

7. Ebenus cretica L.

(Syn. Anthyllis cretica Lam.; rothes oder braunes Ebenholz.)

Die aus dem Botanischen Museum erhaltene cylindrische Querscheibe dieses interessanten Holzes hat zwar nur etwa 4 cm im Durchmesser, zeigt aber gleichwohl schon ausgeprägte Kernbildung; der sehr scharf abgegrenzte Kern nimmt etwa $^2/_3$ des Durchmessers ein und ist fast schwarz gefärbt, der Splint holzfarben, bezw. um den Kern herum etwas gelblich.

1) Vgl. Temme l. c. S. 468.

a. Splint.

Die dickwandigen Holzzellen besitzen nur ein kleines Lumen und lassen eine radiale Anordnung nicht erkennen. Die ein- bis vierreihigen Mkstr. bestehen aus schmalen und nicht sehr langen Zellen. Die Grösse der Gefässe ist meist wenig beträchtlich; dieselben liegen einzeln oder in unregelmässigen Gruppen zusammen, bisweilen zeigen sie tangentiale Anordnung; das Gleiche gilt von dem stellenweise die Gef. verbindenden, doch nicht sehr reichlich vorhandenen Hp. — Die äussere Splintzone ist frei von Ausfüllungen, in der Umgebung des Kerns treten dagegen in Gefässen und Hp.-Zellen bisweilen citronengelbe Ausfüllungen auf, auch zeigen die Membranen lichte Gelbfärbung.

b. Kern.

Hier sind die Gef. regelmässig erfüllt mit dunkleren, braunrothen oder braunen Gummimassen, ebenso sehr stark die Mkstr.-Zellen, sowie die Hp.- und Holzzellen. Hierin hauptsächlich ist der Grund für die makroskopische Dunkelung des Kernholzes zu erblicken, denn die Färbung der Zellmembranen ist nicht so erheblich, wie man vielleicht — nach der makroskopischen Erscheinung des Holzes — anzunehmen geneigt sein möchte, sie ist heller oder dunkeler bräunlichgelb. Die Inhaltsmasse zeigt das bekannte Verhalten des Gummis gegen Lösungsmittel; die Membranfärbung wird durch Behandlung mit siedendem Wasser, Alkohol, sowie besonders mit KOH heller, doch nicht ganz entfernt, in Aether, sowie verdünnter Schwefelsäure ist sie kaum merklich löslich; $KClO_3 + HCl$ bleicht sehr bald und macht den Ausfüllungsstoff alkohollöslich.

Junger Splint, wie er aus dem Herbarium erhalten wurde, zeigt noch keinerlei Ausfüllungen, schwache Gelbfärbung der Membranen scheint dagegen schon früh aufzutreten.

Schutzholz dieser Pflanzenspecies fand sich weder im Herbarium, noch war solches aus dem Botanischen Garten zu bekommen.

C. Lythraceen.

8. Physocalymna floribundum Pohl.
(Aechtes Rosenholz aus Bahia.)

Auch hier konnte nur Splint- und Kernholz verglichen werden, da die Species im Botanischen Garten nicht vertreten ist.

Das aus dem Landwirthschaftlichen Museum stammende cylindrische Stück zeigt nur am äusseren Umfange ein paar kleine Stellen Splint und besteht im Uebrigen aus schön rosenroth gefärbtem Kernholz (daher der Name „Rosenholz“, nicht etwa von — nicht vorhandenem — Wohlgeruch). Die Querschnittsfläche (von ungefähr 10 cm Durchmesser) weist in verschiedenem Grade dunkelrothgefärbte, unregelmässig gewellte Zonen auf.

a. Splint.

Die Holzzellen sind mässig verdickt, Hp. tritt spärlich, meist vereinzelt auf; die Gef., in mässiger Zahl vorhanden, liegen einzeln oder häufig zu zwei bis drei in radialer Richtung zusammen, ihre Membranen sind stark verdickt und deutlich getüpfelt (auch, wenn das Lumen bereits mit Gummi erfüllt ist!). Die recht zahlreichen, aber, weil meist einreihig, wenig hervorstechenden Markstrahlen führen ziemlich schmale und kurze Zellen.

Es darf nicht auffallen, dass in diesem, wie gesagt, unmittelbar an das Kernholz grenzenden Theil des Splints in einigen Gefässen und bisweilen auch in Mkstr.-Zellen schon hellgelbe bis bräunlichgelbe Ausfüllungen zu treffen sind.

b. Kern.

Im Gegensatz zum Splint sind im Kernholz sämmtliche Zellmembranen durch einen schön rosenrothen Farbstoff tingirt, und eine dementsprechende Färbung zeigen auch die hier in Gefässen, Mkstr.-, sowie auch in Holzzellen ungleich häufiger auftretenden Ausfüllungen. Die letzteren sind in den üblichen Lösungsmitteln unlöslich, doch wird ihnen durch Alkohol, sowie besonders KOH die rothe Färbung entzogen.

Feine Hobelspäne färben Wasser beim kalten Stehenlassen nicht sichtbar, beim längeren Kochen bräunlichgelb; als nach dreimaliger Wiederholung des Auskochens eine neue Menge Wassers

sich nicht weiter färbte, hatte die Rothfärbung der Schnitte weder makro- noch mikroskopisch erkennbar abgenommen. Alkohol färbt sich schon kalt — und heiss nicht wesentlich anders — prächtig himbeerroth, spätere Auszüge nehmen nur noch schwache Färbung an, und die hinterbleibenden Schnitte zeigen noch deutliche, wennschon sichtlich heller gewordene Rothfärbung. Aether wird sowohl kalt wie heiss nur sehr hellgelbröthlich tingirt, und es ist nach mehrmaliger Behandlung damit kaum Abnahme der Membranfärbung zu erkennen. Kalilauge giebt, in gleicher Weise kalt wie heiss, einen lebhaft bräunlichgelben Auszug; nach Abwaschen der Lösung mit Wasser und Wiederholung der Behandlung mit KOH sind die Schnitte fast entfärbt; sie erscheinen nur noch hellgelblich. Verdünnte Schwefelsäure färbt sich dagegen nur hellgelblich und veranlasst keine wahrnehmbare Abnahme der Membranfärbung.

D. Cassuvieen.

9. Pistacia Lentiscus L.

(Pistacienholz.)

I. Aus dem Botanischen Museum

erhielt ich je ein kleines Stückchen Splint- und Kernholz.

a. Splint.

Das Grundgewebe wird von einem mässig verdicktwandigen, ziemlich unregelmässig angeordneten Libriform gebildet; darin sind zahlreich die einzeln oder in kleinen Gruppen liegenden Gefässe eingelagert, dieselben sind zum Theil von sehr erheblicher Grösse, zum Theil aber auch weniger weitlumig. Die Mkstr. sind ein- bis vierreihig, die Zellen ziemlich breit und von sehr beträchtlicher Radialerstreckung. Die Zellelemente des Splints zeigen keine Ausfüllung, und ihre Membranen sind farblos oder doch sehr hellgelblich.

b. Kern.

Die Membranen sämmtlicher Elemente, besonders des Libriforms, zeigen eine je nach der Dicke der Schnitte mehr oder weniger intensiv bräunlichgelbe Färbung; sodann sind Holz- und Mkstr.-Zellen erfüllt von einem homogenen, bräunlichgelben bis

dunkelbraunen Inhalt, ebenso tritt derselbe in den kleineren Gefässen auf; die, die grosse Mehrzahl bildenden sehr weitlumigen Gef. dagegen zeigen die andere Art der Verstopfung: ihr Lumen wird erfüllt von sehr stark ausgebildeten, in einander geschobenen Thyllen mit gelbgefärbten Häuten. Die Ausfüllung ist unlöslich in siedendem Wasser, Alkohol, Aether, verdünnter Schwefelsäure, sowie zum Theil in KOH, letzteres Agens scheint einige Inhalte zu lösen; $KClO_3$ + HCl löst oder macht alkohollöslich. Die Membranfärbung ist in siedendem Wasser, Alkohol und Aether, besonders aber in KOH — dieses Mittel färbt die Schnitte zunächst tiefer bräunlichroth — merklich löslich, ohne bei dieser Behandlung ganz zu verschwinden; verdünnte Schwefelsäure lässt die Färbung dagegen sogar etwas mehr in röthlichgelb hervortreten; die Mischung aus $KClO_3$ und HCl bleicht sogleich.

II. Lebende Pflanze aus dem Botanischen Garten.

a. Splint (eines zweijährigen Zweiges).

Die Holzzellen sind hier mässig verdickt, dicht gelagert, daher mehr polyëdrisch, als rundlich; die Mkstr. sind ein- und zweireihig und treten wenig hervor, sie verlaufen durchaus geradlinig. Die mässig zahlreichen Gef. sind nicht sehr weitlumig.

b. Schutzholz (von einer $8^1/_2$ Monate alten Querverwundung des vorbesprochenen jungen Zweiges).

Die Mehrzahl der Gef. sowohl, wie der Holz- und Mkstr.-Zellen zeigt eine Ausfüllung mit gelbem bis bräunlichgelbem Gummi (da die Gef. dieses jungen Holzes noch weniger weitlumig sind, so schliessen sie sich hinsichtlich der Art der Ausfüllung ihres Lumens an die kleineren Gef. des oben besprochenen Kernholzes an). Behandlung mit Lösungsmitteln ergiebt beim Ausfüllungsstoff das gewöhnliche Resultat. Daneben ist eine leichte Gelbfärbung der Membranen zu beobachten, und zwar erweist sich dieselbe durch ihr Verhalten bei Einwirkung von KOH — zunächst wird sie gelb- bis bräunlichroth, um dann wenigstens theilweise gelöst zu werden — wiederum identisch mit der Kernholzfärbung.

10. Rhus Cotinus L.
(Holz des Perückenbaums, Fisetholz.)

I. Aus der Sammlung des Pflanzenphysiologischen Instituts

lag ein Stück mit stark entwickeltem Kernholz vor; auf frischer Schnittfläche ist dasselbe lebhaft gelb gefärbt, auf älterer mehr gelbbräunlich; im Kern treten dunklere concentrische Zonen auf. Der holzfarbene Splint bildet einen schmalen äusseren Ring von etwa 4 mm Durchmesser, während der Kern etwa 30 mm misst.

a. Splint.

Die Holzzellen sind ziemlich regelmässig radial geordnet, ihre Wandungen mässig verdickt; die Mkstr., aus einer, seltener zwei Reihen meist kurzer Zellen bestehend, sind schmal und treten nicht sehr deutlich hervor. Hp. kommt besonders in der Umgebung der Gefässe, aber überhaupt nicht sehr verbreitet vor; die Gef. liegen, ohne erkennbare Regelmässigkeit angeordnet, einzeln oder häufig zu mehreren in sehr mannigfaltiger Weise zusammen, sie sind von meist sehr beträchtlicher Weite. Der Splint bildet ein helles Gewebe ohne Ausfüllungen.

b. Kern.

Abgesehen von einer äusserst zerstreut auftretenden Ausfüllung von Mkstr.-Zellen mit einer gelben bis gelbbräunlichen Inhaltsmasse, die ich für eine lokale Farbstoffansammlung halten möchte, treten hier keine Ausfüllungen auf; wir haben hier wieder einmal den Fall, dass die Gefässe sich nicht durch Gummi verschliessen, sondern durch Thyllen, letztere treten sehr reichlich auf und sind noch besonders kenntlich durch ihre gelbgefärbten Häute. Abgesehen von dem Thyllen-Verschluss der Gef. äussert sich nämlich beim Fisetholz der Uebergang des Splints in Kernholz in dem Auftreten eines sämmtliche Membranen tingirenden, lebhaft gelben Farbstoffes. Derselbe geht — bei mit Raspelspänen angestellten Versuchen — in Wasser schon bei kaltem Stehenlassen mit reingelber Farbe über, aber auch nach häufig wiederholter Abkochung zeigt sich die Membran noch deutlich gefärbt; während HCl den wässerigen Auszug nicht wesentlich verändert, wird die Farbe des-

selben durch Zusatz von KOH in ein schönes, lebhaftes Roth übergeführt. Das Gleiche gilt vom alkoholischen Auszuge, auch hier geht der Membranfarbstoff mit gelber Farbe in Lösung (und wird durch KOH in roth verwandelt), ohne dass es jedoch gelänge, ihn völlig zu erschöpfen. Ebenso verhält es sich mit Aether, der sich etwas weniger stark gelb färbt. KOH nimmt schon bei kalter Einwirkung auf die Späne schöne, tiefrothe Farbe an, heiss nicht wesentlich anders; bei Uebersättigen des Auszugs mit HCl schlägt die Farbe desselben in hellgelb um; schwache Membranfärbung bleibt auch hier erhalten, nachdem die alkalische Lösung durch Wasser nachgespült, und das Ausziehen mittels KOH wiederholt ist. Weniger noch vermag verdünnte Schwefelsäure, die mit gelber Farbe löst, Entfärbung der Membranen zu erzielen.

II. Lebende Pflanze aus dem Botanischen Garten.

a. Normales junges Splintholz zeigt durchaus Uebereinstimmung mit dem unter I a. beschriebenen Splint.

b. Schutzholz.

Beim Durchspalten in der Längsrichtung kennzeichnet sich das Schutzholz einer $8^1/_2$ Monate über am Stamme belassenen verwundeten Stelle eines etwa federkieldicken Zweiges als deutlich gelbe Zone gegen den normalen Splint, und auch auf mikroskopischen Schnitten ist eine an die des Kernholzes erinnernde Gelbfärbung der Membranen wahrzunehmen. Beide werden in der That durch denselben Farbstoff veranlasst: es ist beim Kernholz gesagt, dass das Pigment desselben durch KOH aus gelb in roth verwandelt wird; so auch hier: betupft man die gelbe Zone des Schutzholzes mit der Lauge, oder lässt man einen Tropfen der letzteren zu mikroskopischen Schnitten treten, so tritt in beiden Fällen ein prächtiges Roth auf; Zusatz von HCl lässt die Farbe in gelb zurückkehren. Auch im Uebrigen ergiebt sich hier wieder eine schöne Uebereinstimmung zwischen Kern- und Schutzholz, insofern nämlich auch bei letzterem der Verschluss der Gef. nicht durch Gummi, sondern durch Thyllen bewirkt wird, die hier reichlich beobachtet wurden (Taf. I, Fig. 2).

E. Zygophyllaceen.

11. Guajac. officin. L.

1. Die Droge: Guajak-, Pock- oder Franzosenholz (Lign. Guajac., Lign. sanctum).

Die der Institutssammlung entstammende vollständige Querscheibe besitzt einen etwas ovalgestreckten Umriss; von den beiläufig 20 cm des grösseren Durchmessers entfallen etwa 14 cm auf den centralen Kern, das übrige (beiderseitig etwa 3 cm) ist Splintholz. Letzteres zeigt gewöhnliche hellgelbliche Holzfarbe, während das Kernholz sehr dunkel, grünbraun bis schwarz gefärbt erscheint; doch treten im inneren Theil des Splintes bereits zerstreute, in der Umgebung des Kerns häufiger werdende dunkele Punkte auf.

a. Splint.

Die Hauptmasse des Holzes besteht aus stark verdicktwandigen Libriformzellen mit sehr kleinem Lumen; Hp., obwohl nur einreihig und in undeutlich tangentialer, oft unterbrochener Anordnung auftretend, giebt Veranlassung zu dem dem blossen Auge auffallenden scheinbaren Jahresringbau des Holzes; die Mkstr. sind zahlreich, aber schmal, stets einreihig. Die Vertheilung der ziemlich zahlreichen, einzeln oder in kleinen Gruppen auftretenden Gefässe über den Querschnitt ist eine ungleichmässige; es sind dieselben von erheblicher Weite, hierin einander ziemlich gleich, die dicken Wandungen porös getüpfelt.

Während die Membranen der Elemente des Splints durchweg farblos oder sehr schwach gelblich erscheinen, zeigen sich auf dem inneren Theile des Holzes entnommenen Schnitten einige zerstreute Gefässe mit einem verschieden dunkelen, gelblichen bis bräunlichrothen oder auch grünlichen Inhalt erfüllt. Dieser Inhalt löst sich — wie das schon unter dem Mikroskop in interessanter Weise zu verfolgen ist — leicht in Alkohol, auch, wennschon langsamer, in Aether, wird dagegen von selbst kochendem Wasser nicht verändert. Wir haben es hier also nicht mit dem in den bisher behandelten Holzarten meist beobachteten Gummistoff zu thun, sondern mit Guajakharz. Damit steht in Einklang, dass bei der Phloroglucin + HCl — Reaktion, welche das gesammte Gewebe prächtig roth

färbt, die Harzausfüllung ungefärbt bleibt (oder vielmehr die ursprüngliche Färbung beibehält); werden dagegen Schnitte der inneren Splintpartie längere Zeit in eine als mikrochemisches Reagens auf Harze empfohlene Kupferacetat-Lösung[1]) eingelegt, danach in Wasser abgewaschen, so haben sich in der That die einzelnen Gefässausfüllungen schön smaragdblau gefärbt und treten dadurch noch mehr hervor (doch ist die Färbung nicht sehr haltbar). Mkstr.- und auch Hp.-Zellen reagirten auf Stärke.

b. Kern.

Zum Unterschied gegen den Splint findet sich hier in allen Gefässen jener Inhalt, desgleichen auch in Holz- und Mkstr.-Zellen; die Färbung des Inhalts ist dieselbe, wie beim Splint angegeben oder auch oft mehr grünbraun oder grünlichschwarz. Sodann erscheinen die Wände sämmtlicher Xylemelemente hier dunkler gelb, als im Splint, gefärbt, deutlich tritt das übrigens nur auf nicht allzu dünnen Schnitten hervor. In Alkohol ist der Inhalt sämmtlicher Zellen leicht löslich, nicht aber der die Membranfärbung veranlassende Stoff, selbst nach mehrtägiger Maceration oder nach längerem Erhitzen erscheinen die Zellwandungen unverändert gelb. Aether wirkt wie Alkohol. KOH übt stark quellende Wirkung, der Inhalt der Gef. und wohl auch der Holzzellen (deren Lumen fast verschwindet) löst sich, die Membranen aber erscheinen nach dem Einwirken des Alkalis eher dunkler, als heller. Verdünnte Schwefelsäure lässt Inhalts- wie Membranstoff unverändert. Bei Digestion dünner Schnitte mit $KClO_3$ und verdünnter HCl wird — umgekehrt, wie bei der Alkoholbehandlung — der in den Membranen enthaltene Stoff gelöst oder doch gebleicht (die Schnitte erscheinen danach völlig farblos), dagegen der Inhaltsstoff nicht entfernt.

Kupferacetat färbt hier nicht nur die Ausfüllung der Gef., sondern auch die der Holz- und Mkstr.-Zellen (wodurch doch auch die Gleichartigket angezeigt wird), nicht aber die Membranen. Wenn also, wie dies meist — und wohl mit Recht — angegeben wird, das die Gefässe erfüllende Guajakharz auch die Zellwände durchtränkt, so wird daneben doch noch die Färbung der letzteren durch

1) Unverdorben's Harzreaktion; s. Poulsen-Müller, Botan. Mikrochemie (Kassel 1881), S. 38.

einen besonderen Stoff bedingt sein, der auch die Färbung durch Kupferacetat verhindert oder verdeckt (vielleicht durch denselben Stoff, welcher dem Kernholz unserer meisten, nicht gerade durch einen besonderen Farbstoff ausgezeichneten, einheimischen Laubbäume die den Kern vom Splint abhebende dunkele Farbe ertheilt). Es spricht dafür auch die grosse Indifferenz der Membranfärbung gegen die den Harz-Inhaltsstoff leicht lösenden Mittel, wennschon zugegeben werden soll, dass auch eine nur durch Harz veranlasste Membranfärbung nicht mit derselben Leichtigkeit zu entfernen sein würde, wie der nämliche Zellinhalt (wegen der innigen Durchdringung, Infiltration der Membranen mit solchen Stoffen).

II. Lebende Pflanze aus dem Botanischen Garten.

a. Junger Splint.

Hinsichtlich des anatomischen Baues ist nur zu bemerken, dass das Lumen der Holzzellen erheblich weiter erscheint, als in dem unter I. beschriebenen älteren Holz der Droge. Im Uebrigen aber ist in Anbetracht dessen, dass in jenem älteren Splint einige Gef. mit Inhalt erfüllt waren, besonders hervorzuheben, dass dieser junge Splint keinerlei Ausfüllungen der Gef. oder der übrigen Zellelemente zeigt, und dass das gesammte Gewebe völlig hell erscheint.

b. Schutzholz.

Als solches lag zunächst eine etwa 7 Monate alte Querverwundung desselben jungen Zweiges vor, welcher im weiteren Abstand von der Wundstelle den eben behandelten jungen Splint lieferte. Querschnitte durch das Schutzholz zeigen nun die grosse Mehrzahl der Gefässe erfüllt mit grüngelbem Inhalt von etwas splittriger oder körniger Beschaffenheit; dieser Inhalt löst sich leicht in Alkohol (schon beim Hinzutretenlassen des letzteren unter das Deckglas), ebenso ist er, etwas langsamer, löslich in Aether, sowie auch in Kalilauge, nicht aber in kaltem oder siedendem Wasser oder in verdünnter Schwefelsäure, und dem Gemisch aus $KClO_3$ + HCl widersteht er sehr energisch: die Gefässe des Guajak-Schutzholzes haben sich also, wie im Kern, mit Harz erfüllt! Kupferacetat färbt auch hier den Gefässinhalt lebhaft hellblau, ebenso einzelne Holzzellinhalte, daneben aber zeigen sich in anderen Holzzellen hellgelbe,

homogene Inhaltskörper, die ebensowenig die blaue Färbung annehmen, wie der Inhalt der Mkstr.-Zellen, der meist körnig erscheint und der aus abgestorbenem Plasma, zusammen mit in Umwandlung begriffenen Stärkmehlkörnchen bestehen dürfte. Der Holzzellinhalt nimmt dagegen mit Phloroglucin + HCl die bekannte, auch dem Lignin zukommende Rothfärbung an; deutet dies schon auf Schutzgummi, so erweist sich das bei Lösungsversuchen als zutreffend: der Holzzellinhalt ist unlöslich in siedendem Wasser, Alkohol, Aether, in verdünnter Schwefelsäure und KOH, wird dagegen durch $KClO_3$ + HCl alkohollöslich gemacht und später durch diese Mischung selbst gelöst.

Bemerkenswerth ist also das Auftreten zweier verschiedener Zellausfüllungsmittel in diesem Schutzholz; da aber das Hauptgewicht stets auf die Art der Verstopfung der Gefässe, als der die Pflanze senkrecht durchziehenden Durchlüftungsorgane zu legen sein wird, so liefert Guajacum ein beachtenswerthes Beispiel für Uebereinstimmung von Schutzholz mit einem Kernholz, das einen andern, als den gewöhnlichen Ausfüllungsstoff zeigt.

An einem anderen Zweigstück hatte sich die Schnittfläche sogar mit einer völligen Kruste ausgetretenen und in Folge der Oxydation an der Luft dunkelgrün gefärbten Harzes bedeckt; Splitterchen der Kruste lösten sich leicht in Alkohol.

Endlich bestätigte

III. Herbarmaterial

den im Vorstehenden enthaltenen Befund für jungen Splint sowohl, wie für Schutzholz; letzteres ergab hier überdies einen weiteren Anklang an das Kernholz in einer zwar schwachen, aber deutlich wahrnehmbaren grünlichgelben Membranfärbung. Bei Einwirkung obiger Lösungsmittel wurde dieselbe offenbar heller, ohne jedoch ganz zu verschwinden.

F. Cedrelaceen.

12 Swietenia Mahagoni L.
(Aechtes Mahagoniholz.)

I. Aus dem Landwirthschaftlichen Museum

sowie aus einer hiesigen Specialhandlung lagen je ein Stück des Nutzholzes vor; beide waren gleichmässig hellrothbräunlich gefärbt, ohne Sonderung in Splint und Kern.

Die Holzzellen sind mässig verdickt und zeigen noch deutliches Lumen, sie werden ziemlich häufig unterbrochen von weitmaschigem, mehrreihigem Hp., das besonders die Gefässe umgiebt. Letztere sind durchweg von sehr beträchtlicher Grösse, sie liegen meist einzeln, oder aber auch in radialen oder unregelmässigen Gruppen, die Wandungen sind erheblich verdickt. Die zahlreich auftretenden Mkstr. zeigen entweder nur eine, oder seltener mehrere, bis vier Reihen schmaler, sehr langgestreckter Zellen.

In Mkstr.-, Hp.-Zellen und Gefässen wurde eine gelbe, homogene Ausfüllungsmasse beobachtet; der Umstand aber, dass die Gefässe keineswegs regelmässig diese Ausfüllung zeigten, und dass letztere häufig noch nicht das ganze Lumen erfüllte, sondern nur erst als tropfenförmige Wandausschwitzung in den hier sehr weiten Innenraum hineinragte, regte die Frage an, ob denn auch die vorliegende Holzprobe schon wirkliches Kernholz darstelle. Es scheint das in der That zweifelhaft, denn ein aus dem Holz in genau senkrechter Richtung gefertigter fingerdicker Cylinder erwies sich bei Anstellung eines bezüglichen Versuches in der von Temme[1]) genau beschriebenen Weise als stark durchlässig für Luft. Uebrigens besteht die Ausfüllungsmasse, wie aus der Unlöslichkeit in den auch früher verwandten Lösungsmitteln und dem Eintreffen der Temme'schen Reaktion hervorgeht, aus Gummi. — Die schwache, gelbbräunliche Membranfärbung war durch keins der angewandten Mittel völlig zu entfernen.

1) l. c. S. 477.

II. Lebende Pflanze aus dem Botanischen Garten.

a. Junger Splint bietet anatomisch nichts besonders Bemerkenswerthes dar; er ist hellfarben und ohne Ausfüllungen.

b. Schutzholz (unbekannten Alters).

Der grösste Theil der Gefässe von Querschnitten ist erfüllt von einer meist citronengelben, bisweilen auch bräunlichgelben Gummimasse, die in den meisten Fällen das ganze Lumen erfüllt; doch ist auch hier das tropfenförmige Hervorquellen und das Sichausbreiten als Wandbeleg öfters zu beobachten. Nicht ganz so verbreitet, aber auch recht häufig erfüllt die Masse die Holz-, Hp.- und Mkstr.-Zellen, sie ist hier meist dunkler bräunlich- oder röthlichgelb gefärbt. Sie zeigt die Reaktionen des unlöslichen Gummis und befindet sich also in Uebereinstimmung mit dem laut obiger Angaben im Kernholz derselben Species auftretenden Stoff. — Färbung der Membranen war hier noch nicht zu konstatiren.

G. Berberideen.

13. Berberis vulgaris L.
(Sauerdornholz.)

Es lag hier nur Material aus dem Botanischen Garten vor:

a. Splint.

Die Holzzellen sind von rundlichem Umriss und ziemlich dickwandig, meist erkennbar radial gereiht. Die ein- bis fünfreihigen Mkstr. setzen sich aus ziemlich breiten, nicht sehr langen Zellen zusammen; das mässig reichliche Vorkommen von Hp. ist sicherer als auf Querschnitten, auf Längsschnitten festzustellen. Gef. sind im Frühlingsholz zahlreich, in der Grösse unter einander sehr verschieden; sie zeigen öfters tangentiale Anordnung. — Das Splintholz ist durchaus frei von Ausfüllungen.

b. Schutzholz unbekannten Alters setzte sich als stark gedunkelte Zone scharf begrenzt gegen das normale Splintholz ab. Bei mikroskopischer Betrachtung zeigten sich dann wieder fast regelmässig die Gef., Holz- und Hp.-Zellen (nicht aber hier die Mkstr.)

mit der bekannten homogenen Gummimasse erfüllt, welche hinsicht lich der Farbe wieder verschiedene Uebergänge von dem überwiegenden Citronengelb zu Bräunlichroth, gegen Lösungsmittel das Verhalten des Gummis der übrigen Schutzhölzer zeigt.

(Mangels eines Musters von Kernholz — gelangt solches bei dem Berberis-Strauch überhaupt zur Ausbildung? — war ein Vergleich von Schutz- und Kernholz ausgeschlossen; immerhin vermehrt laut Vorstehendem Berber. vulg. aber die Beispiele für Gummibildung im Schutzholz.)

H. Ebenaceen.

14. Diospyros lotus L.

(Lotusholz oder Grünes Ebenholz.)

I. Aus der Sammlung des Pflanzenphysiologischen Instituts

kam ein rundes Aststück zur Verwendung, von etwa 4 cm Durchmesser; davon entfallen annähernd 5 mm auf den ziemlich centrisch gelegenen, fast schwarzen Kern, das übrige ist hellgelbbräunliches Splintholz.

a. Splint.

Die Holzzellen sind mässig verdickt und zeigen bisweilen einen etwas unregelmässigen Umriss; Hp. tritt auf Querschnitten wenig deutlich hervor, sein Vorhandensein wurde aber durch Längsschnitte sichergestellt. Die Mkstr. sind meist ein-, doch auch zwei- bis dreireihig, ihre Zellen ziemlich weit und langgestreckt; die reichlich auftretenden Gef. liegen einzeln, oder aber bis zu fünfen in radialen, bisweilen auch tangentialen Gruppen beisammen; sie sind zum Theil von sehr beträchtlicher Weite und nehmen dann den ganzen Raum zwischen zwei Mkstr. ein, ihre Wände sind stark verdickt und deutlich getüpfelt. Auf dünnen Schnitten erscheinen die Membranen des gesammten Gewebes farblos, und nur auf dickeren Schnitten ist schwach gelbliche Färbung derselben zu erkennen; dagegen tritt in diesem älteren Splint, besonders in den an das Kernholz grenzenden Ringen desselben in Mkstr.- und Holzzellen bisweilen schon eine gelbliche Ausfüllung auf.

b. Kern.

Die Membranen, besonders der Holzzellen und der Gef., zeigen hier eine stärkere Braunfärbung, gleichwohl ist die makroskopisch so sehr scharf hervortretende, fast schwarze Färbung des Kerns weniger diesem Membranfarbstoff zuzuschreiben, als vielmehr einem in allen Zellelementen vorkommenden Ausfüllungsstoff; derselbe tritt ganz besonders in den Gefässen auf, die davon ganz oder zum Theil erfüllt sind; er ist offenbar von etwas splittriger Beschaffenheit, gelb, meist aber sehr dunkel, fast schwarz gefärbt. Die Membranfärbung sowohl, wie der Ausfüllungsstoff erwies sich durchaus unlöslich in den üblichen Lösungsmitteln, dagegen wurde der Gummistoff — denn mit solchem haben wir es auch hier zu thun — durch viertel- bis halbstündige Behandlung in $KClO_3$ + HCl löslich in Alkohol (bei heisser Anwendung desselben); jene Mischung allein hatte ihn nur erst heller gefärbt (wie auch den Membranfarbstoff) und ihn selbst dann noch nicht völlig gelöst, als infolge starker Behandlung damit das Gewebe bereits auseinanderfiel.

II. Herbar-Material.

a. Junger, normaler Splint zeigt im Gegensatz zu dem oben besprochenen älteren Splint weder eine Ausfüllung, noch Membranfärbung.

b. Schutzholz.

Das mikroskopische Bild desselben stimmt durchaus mit dem des Kernholzes: die grosse Mehrzahl der Gef. des Querschnitts ist ganz oder theilweise erfüllt mit homogener, bisweilen etwas splitteriger Masse, die oft sehr hellgelblich, in anderen Fällen aber auch dunkeler bis gelbbräunlich gefärbt ist; sie zeigt das Löslichkeitsverhältniss des Schutzgummis und färbt sich mit Phloroglucin + HCl schön roth, mit Kupferacetat nicht blau. — Schwache Membranfärbung ist zu bemerken.

15. Diospyros Kaki L.
(Chinesischer Quittenbaum.)

I. Aus dem Landwirthschaftlichen Museum.

Das auf der Querfläche etwa 8 cm im Quadrat haltende (und wohl doppelt so hohe) Stück ist von schmutzig bräunlicher Farbe; es zeigt deutlich radiale, wie concentrische Zeichnung und zerstreute, schwarze Stellen, aber keine regelmässige Abgrenzung von Splint und Kern.

Die Holzzellen sind dicht gelagert, nicht sehr stark verdickt; die Mkstr. treten zahlreich auf, daher verhältnissmässig dicht bei einander verlaufend, fast stets ein-, doch bisweilen auch zweireihig, die Zellen sind von erheblicher Länge, mässig breit. Die dickwandigen, stark getüpfelten Gef. liegen meist bis zu acht in radialen Reihen beisammen; sie sind häufig umgeben von weitlumigen Hp.-Zellen, welch letztere ausserdem das Xylem in tangentialen, doch häufig recht unregelmässigen, schräg oder geschlängelt verlaufenden, auch öfters unterbrochenen Binden durchziehen.

Während im Allgemeinen das Gewebe auf dünnen Schnitten hellfarbig erscheint, und nur vereinzelte Ausfüllungen in den Zellelementen auftreten, werden die erwähnten, makroskopisch sichtbaren dunkelen Stellen im Holzquerschnitt veranlasst durch das Zusammenwirken bräunlich gefärbter Membranen mit dem Auftreten einer besonders die Gef. erfüllenden, fast schwarz erscheinenden Masse; doch weisen in der Umgebung zu beobachtende heller gefärbte Ausfüllungen (mehr oder weniger dunkelgelb, bisweilen fast farblos) auch hier darauf hin, dass die schwarzen Inhalte offenbar aus solch hellen Gummimassen hervorgehen.[1]) Auch bei diesem Objekt sind oft die verschiedenen Stadien des Hervorquellens der Masse in den Innenraum der Gef. zu beobachten. Weniger häufig erfüllt der Stoff die übrigen Zellelemente.

---

1) Vgl. darüber: Molisch: „Vergleichende Anatomie des Holzes der Ebenaceen und ihrer Verwandten“ im Sitzungsber. der K. K. Akad. der Wissensch., Wien, LXXX. Bd. (1879), I. S. 54—83, und Bělohoubek: „Ueber Ebenholz und dessen Farbstoff“ im Sitzungsber. der K. Böhm. Gesellsch. der Wissensch. zu Prag, 1883, durch Botan. Centralbl. 1884, No. 23, S. 293—294; übrigens auch S. 71 ff. meiner Arbeit.

Die hellen, wie die dunkelen Inhalte sind in gleicher Weise unlöslich in siedendem Wasser, Alkohol, Aether, KOH, verdünnter Schwefelsäure; ebenso die Membranfärbung, wennschon sich bei mit Hobelspänen angestellten Versuchen Wasser (siedend) bräunlichgelb, Alkohol mehr rein gelb und besonders KOH rothbräunlich damit färbt. Durch Digestion mit $KClO_3$ und verdünnter HCl werden die Membranen entfärbt, der Ausfüllungsstoff aus schwarz in rothgelb gebleicht und alkohollöslich gemacht, gelöst wird er durch die Mischung selbst nicht oder doch sehr schwierig. — Die hellen Inhalte werden durch Phloroglucin + HCl lebhaft roth gefärbt, bei den sehr dunkelen war das nicht wohl zu beobachten.

II. Junge Zweige aus dem Botanischen Garten.

a. Splint.

Indem bezüglich des histiologischen Baues auf das unter I. Gesagte verwiesen wird, bleibt nur zu bemerken, dass der junge Splint frei von Ausfüllungen und Membranfärbung ist.

b. Schutzholz.

In den Gefässen dringen gelbe Tropfen in das Lumen, in anderen Fällen ist letzteres ganz ausgefüllt von der sehr dunkel erscheinenden Masse, ebenso besonders die die Gef. umgebenden Hp.-Zellen, einzelne Mkstr.- und Holzzellen. Wie im Kernholz dieser Species, so zeigt auch hier im Schutzholz der Inhaltsstoff die Löslichkeitsverhältnisse des Gummis. – Es bildete das Schutzholz hier eine der schrägquer geführten Schnittfläche genau parallele, kaum 5 mm hohe, stark gedunkelte und dadurch scharf gegen den normalen Splint sich abhebende Zone; auf mikroskopischen Schnitten war die Membranfärbung nicht zu verfolgen.

16. Diospyros Ebenum Retz.
(Aechtes Ebenholz.)

I. Aus dem Landwirthschaftlichen Museum.

Der Kern dieses bekanntlich durch ausserordentliche Härte ausgezeichneten Holzes erscheint tief schwarz, der Splint hellbräunlichgelb.

a. Splint.

Die Holzzellen sind sehr stark verdickt und enggelagert; die Mkstr. zahlreich, einander sehr genähert, fast stets einreihig, ihre Zellen ziemlich breit, aber nicht sehr lang. Hp. verläuft wieder in einreihigen, tangentialen Binden, doch unregelmässig. Die Gefässe treten hier weniger zahlreich auf, als bei den vorigen Diospyr.-Species, auch bestehen die radialen Gruppen, welche neben dem Einzelvorkommen beobachtet werden, meist nur aus 2—3 Gefässen. Stellenweise enthalten die Gef. gelbliche Gummimasse.

b. Kern.

Alle Elemente zeigen eine fast schwarze, rothbraun durchscheinende Ausfüllung; die Membranfärbung ist weniger erheblich. Die gelbe wie schwarze Ausfüllung zeigt das nämliche Verhalten, wie die der vorigen Species. Auch die Membranfärbung ist sehr indifferent gegen Lösungsmittel: Hobelspäne färben siedendes Wasser, Alkohol, sowie KOH zwar in verschiedenem Grade gelblich, ohne dass jedoch auch nur ein Hellerwerden des schwarzen Kerns zu beobachten wäre; verdünnte Schwefelsäure und Aether werden nicht merklich gefärbt.

II. Junger Splint aus dem Herbarium.

Die Verdickung der Holzzellen ist hier noch nicht so weit vorgeschritten, und Hp tritt weniger verbreitet auf. Im Uebrigen ist nur zu betonen, dass dieses jüngere Stadium des Splintholzes keinerlei Ausfüllung und Membranfärbung zeigt.

Bei dieser, wie bei der folgenden Diosp.-Species konnte Schutzholz nicht erhalten werden; doch ist es, da bei den erstbehandelten D. lotus und Kaki Schutz- und Kernholz mit einander übereinstimmten, wohl erlaubt, dieses auch für die übrigen Species anzunehmen.

17. Diospyros melanida Poir.

(Aechtes Ebenholz.)

Das aus dem Landwirthschaftlichen Museum erhaltene Holzmuster zeigt eine sehr unregelmässige Anordnung des hellbräunlichen Splints und des schwarzen Kerns zu einander.

a. Splint.

Der Querschnitt weist ein sehr regelmässiges, interessantes Bild auf: in dem hellen Gewebe der Holzzellen — es sind diese sehr dickwandig, mit nur kleinem Lumen versehen, in Folge der dichten Lagerung oft vieleckig, abgeplattet — heben sich sehr deutlich die Mkstr. ab, obwohl dieselben meist nur ein-, selten zweireihig sind; die ziemlich breiten, verhältnissmässig kurzen Zellen derselben sind nämlich fast ausnahmslos völlig angefüllt mit lebhaft gelbrothem Gummistoff, auch das enge Lumen der Holzzellen ist häufig erfüllt mit — hier aber meist hellgelb gefärbtem — Gummi. Gefässe treten recht spärlich auf, meist einzeln, weniger häufig zu zwei bis acht in radialer Richtung beisammenliegend, auch sie sind häufig ganz oder zum Theil mit gelber oder gelbröthlicher Masse erfüllt. Hp. bildet wieder einreihige, bisweilen etwas unregelmässig geschlängelte, unterbrochen tangentiale Binden.

b. Kern.

Der Ausfüllungsstoff erscheint, besonders in den Gefässen und Holzzellen, ungleich dunkeler, als im Splintholz, nämlich fast schwarz, in den Mkstr. dagegen auch hier wesentlich von derselben Farbe, röthlichgelb. Abgesehen hiervon sind die Membranen gelbbräunlich tingirt. Bezüglich des Verhaltens der hellen, wie der dunkelen Ausfüllung und auch der Membranfärbung zu Lösungsmitteln ist auf die früheren Angaben bei den anderen Diospyr.-Species zu verweisen.

18. Diospyros Kurzii (Autorname unbekannt).

Bei dem aus dem Landwirthschaftlichen Museum erhaltenen, mit „Marblewood Pecha“ bezeichnetem Holzstück grenzt sich der schwarze Kern scharf, aber mit unregelmässigem Umriss gegen den lichtgelbbräunlichen Splint ab.

a. Splint.

Im anatomischen Bau schliesst sich diese Species an die vorhergehende, D. melanid., an, nur sind die Gef. zahlreicher, Hp.-Zellen beschränkter vorhanden. Auch hier zeigen die Gef. bereits einen hellgelben, Mkstr.- und Hp.-Zellen einen mehr röthlichgelben Inhalt.

b. Kern.

Im Kern treten alle die Ausfüllungen allgemeiner auf und sind ungleich dunkeler gefärbt, so besonders die der Gef. und Holzzellen fast schwarz, ausserdem sind die Zellmembranen mehr oder minder stark gebräunt. Die im Splint erwähnte helle Inhaltsmasse sowohl, wie die dunkele des Kerns erweist sich als Gummi unlöslich in den bekannten Mitteln; die Mischung aus $KClO_3$ und verdünnter HCl bleicht dieselbe und macht sie alkohollöslich, bleicht auch die Membranfärbung. Bei Versuchen mit Hobelspänen färbte sich auch hier KOH am stärksten — röthlichgelb —, ohne dass nach dem Abwaschen dieser Lösung die schwarze Farbe des Holzes auch nur abgeschwächt wäre.

19. ?„Diospyros chloroxylon."
(„Grünes Ebenholz.")

Das mit vorstehender Bezeichnung aus dem Landwirthschaftlichen Museum erhaltene Sammlungsstück besitzt auf der Querfläche etwa halbovalen Umriss; von den beiläufig 15 cm des grösseren Durchmessers entfallen etwa 11 cm auf den Kern, dieser ist sehr dunkel-, das Splintholz hell-bräunlich gefärbt.

a. Splint.

Die wenig hervorstechenden Markstrahlen bestehen meist aus einer, seltener aus zwei Reihen verschieden langer Zellen; die äusserst kleinen Holzzellen besitzen neben stark verdickten Wandungen ein kaum punktförmiges Lumen. Die sehr zahlreichen Gef. von ziemlicher Weite liegen oft bis zu sieben in radialen Reihen zusammen. Hp. ist auch auf Längsschnitten nur wenig verbreitet aufzufinden. — Die Membranen zeigen eine schwache, je nach Zartheit der Schnitte verschieden erhebliche gelbbräunliche Färbung; gefärbte Zellinhalte sind nicht wahrzunehmen.

b. Kern.

Eine röthlichbraune Membranfärbung ist es hauptsächlich, welche das Sichabheben des Kerns vom Splint veranlasst, denn die daneben auftretenden Ausfüllungen sind, wennschon eine gelbbräunliche Substanz in allen Zellarten beobachtet wurde, dafür weniger von Bedeutung. Der Inhaltsstoff erweist sich als löslich in Al-

kohol (schon kalt, unter Mikroskop beobachtet), ebenso, wennschon etwas schwerer, in Aether, sowie auch in KOH, unlöslich in siedendem Wasser und verdünnter Schwefelsäure. Der Membranfarbstoff bleibt in allen diesen Fällen bestehen, wird dagegen durch $KClO_3$ + HCl leicht zerstört, während sich der Zellinhalt gegen dieses Mittel sehr widerstandsfähig erweist.

Demnach zeigt der Ausfüllungsstoff hier nicht den Charakter des gewöhnlich im Kernholz (wie Schutzholz) auftretenden Gummis, sondern eher den eines Harzes (vgl. Guajac.). Kupferacetat färbt den Gefässinhalt allerdings nicht blau, ob Fuchsin aufgespeichert wird, lässt die an sich dunkele Farbe des Inhalts schwer entscheiden. Da nun aber die Ebenaceen, speciell die Diospyros-Arten, wie auch Molisch in der bereits angeführten Arbeit mehrfach betont, im histiologischen Bau, wie im mikrochemischen Verhalten eine so grosse Uebereinstimmung unter einander zeigen, und Molisch sowohl wie Bělohoubek[1]) den Ausfüllungsstoff der von ihnen untersuchten Diospyros-Arten in Alkohol unlöslich, wie überhaupt sehr resistent gegen chemische Agentien fanden, so wäre es sehr auffallend, in einer D.-Species eine harzartige Ausfüllung zu finden, und es dürfte naheliegen, ein Versehen in der Bestimmung, bezw. der Etikettirung des vorliegenden Sammlungsstückes anzunehmen und demselben die Bezeichnung „Diospyr. chloroxyl." abzusprechen. Wiesner[2]) sowohl wie Leunis-Frank[3]) zählen Diosp. chloroxyl. überdies bei den eigentlichen Ebenhölzern auf, und nach Beider Angaben stammt „Grünes Ebenholz" nicht von der genannten Pflanze, sondern von Bignonia leucoxylon L., einer Bignoniacee (nach Leunis-Frank ausserdem von Diospyr. lotus L., sowie von Brya Ebenus DC.). Die bei dem letztgenannten Autor angegebene weitere Bezeichnung für das Holz von Bignon. leucoxyl. „Bastard-Guajakholz" macht ferner eine Analogie zwischen diesem und dem harzführenden Guajakholz wahrscheinlich, und so wird denn das hier vorliegende Holz nicht einer Diospyr.-Species, sondern der Bignon. leucoxylon entstammen.

---

1) Beide Arbeiten sind auf S. 40 citirt.
2) l. c. S. 544.
3) l. c. S' 667.

Es lag zwar später auch Herbarmaterial von Diospyr. chloroxyl. vor, doch nur junger Splint, ohne Ausfüllungen, so dass, da auch der histiologische Bau keinen wesentlichen Anhalt liefert, hieran die Frage nicht zu entscheiden war.

I. Cordiaceen.

Bei dem hier zu besprechenden Genus Cordia ist es mir nicht gelungen, alle drei Zustände des Holzes, Splint-, Kern- und Schutzholz, von ein und derselben Species gegenüberstellen zu können. Ist auch unter diesen Umständen der Vergleich von Kern- und Schutzholz nicht so uneingeschränkt zu ziehen, so glaubte ich doch, trotzdem die bei der Untersuchung von Splint- und Schutzholz der einen, von Splint und Kern der anderen Species erhaltenen Ergebnisse hierher setzen zu sollen.

20. Cordia sebestina L.
(Rosenholz, Cypernholz.)

Der Botanische Garten lieferte:

a. Splint.

Die das helle Gewebe radial durchsetzenden, ein- bis vierreihigen Mkstr. sind ausgezeichnet durch breite Zellen, welche von grosskörnigem Amylum strotzen; das letztere gilt gleichfalls von den die Mkstr. durch tangentiale Binden verknüpfenden, ziemlich reichlich auftretenden Hp.-Zellen. Die Holzzellen sind dickwandig, die Gef. ziemlich zahlreich, zum Theil recht weitlumig.

b. Schutzholz.

Bei Untersuchung einer 7 Monate alten Querverwundung ergab sich, dass die der Schnittfläche unmittelbar benachbarten Partien offenbar dem Absterben preisgegeben waren, dafür sprach die brüchige Beschaffenheit des Holzes und die starke Bräunung der Membranen. Tiefer gelegenen Stellen entnommene Schnitte zeigten diese Erscheinungen nicht, doch hatte andererseits das zarte Stämmchen offenbar noch nicht zur kräftigen Bethätigung des Lebensvorganges, den wir nach der hier vertretenen Auffassung in der Schutzholzbildung zu erblicken haben, gelangen können. Immerhin zeigten

sich bereits in Gefässen und anderen Zellen gelbe Ausfüllungen, und es charakterisiren sich dieselben durch ihr Verhalten (sie speichern auch Fuchsin auf) als das gewohnte Schutzgummi.

21. Cordia Boissieri D. C.
(Anacahuite-Holz.)

Die Institutssammlung enthielt ein 6—8 cm im Durchmesser starkes Aststück mit sehr excentrisch gelegenem, etwa 1,5 cm messendem Kern.

a. Splint.

Das Holz ist ähnlich dem der vorstehenden Cordia-Art gebaut: die Gef. sind hier noch ungleich zahlreicher, sie bilden häufig mehrere tangentiale Reihen; Hp. ist gleichfalls reichlich vertreten, die Holzzellen sind sehr dickwandig und englumig, die Mkstr. ein- bis dreireihig, ihre Zellen langgestreckt, aber nicht so auffallend breit wie bei C. sebest.

b. Kern.

Die Kernbildung aus dem Splint zeigt sich wesentlich in bräunlicher Membranfärbung aller Zellen, besonders der Mkstr. und der Gef.: daneben erfüllt häufig ein gleich gefärbter Inhalt Gef., Holz-, Mkstr.-Zellen — hier ist er öfters etwas körnig — und besonders das die Gef. umgebende Hp. Einzelne Inhalte lösen sich bemerkenswerther Weise in KOH, andere widerstehen aber selbst der heissen Einwirkung dieses Mittels und zeigen auch im Uebrigen das Verhalten von Gummi. — Werden Hobelspäne mit Wasser gekocht, so färbt sich letzteres hellgelb; das Gleiche, doch ein mehr bräunlicher Ton, tritt bei Alkohol ein, KOH färbt sich röthlichbraun. Es ist nach Einwirkung dieser Agentien Hellerwerden der Membranen zu bemerken, völlig wird denselben der Farbstoff aber nicht entzogen.

Herbarmaterial bestätigte die über den Splint gemachten Angaben, enthielt aber leider keine Wundstelle.

22. Cordia Myxa L.
(Schwarzer Brustbeerenbaum.)

Ein vierkantiger Abschnitt aus dem Landwirthschaftlichen Museum.

a. Splint.

Die ganze Erscheinung des mikroskopischen Schnitts zeigt viel Uebereinstimmung mit der bei voriger Species. Die Gef. sind zum grossen Theil ausserordentlich weit und treten in reichlicher Zahl auf, einzeln oder häufig zu zwei bis drei in verschiedener Anordnung zusammenliegend. Die Holzzellen sind sehr dickwandig, auf ein kleines Lumen beschränkt. Die 1—4 Reihen bildenden Mkstr.-Zellen sind meist radial langgestreckt und erheblich breiter, als bei voriger Species; sie enthalten, ebenso wie die reichlich auftretenden Hp.-Zellen, viel grosskörniges Stärkemehl. — Auf etwas dickeren Schnitten zeigen die Membranen, besonders der Mkstr.-Zellen, eine leichte Gelbfärbung.

Es kann hier eine sehr eigenthümliche Erscheinung, welche vereinzelte Gef. aufweisen, nicht übergangen werden, wennschon dieselbe ohne Bezug auf unsere Frage ist: auf Querschnitten wird der Innenraum solcher Gef. ausgekleidet durch ein Netzwerk mit polyëdrischen, seltener abgerundeten Maschen und äusserst zarten, fast farblos durchscheinenden Wandungen; bei stärkerer Vergrösserung ist deutlich zu beobachten, dass die Randmaschen des Netzes mit dem inneren Umkreis der Gefässwand zusammenhängen und derselben genau rechtwinklig zum Gefässrohr ansitzen; ebenso lassen besonders Stellen, an denen das zarte Netzwerk zerrissen ist, keinen Zweifel darüber, dass die Maschen offene Räume darstellen. Längsschnitte brachten keine Aufklärung über die Natur dieser wohl einzig dastehenden Erscheinung — es ist von vornherein sehr wenig Aussicht vorhanden, gerade solch eine Stelle anzutreffen, da diese Durchsetzung des Innenraums der Gef. offenbar sehr vereinzelt auftritt; ob wir es hier mit einer ganz besonderen Ausbildung einer zum Theil resorbirten Querwand, oder aber mit einer nachträglichen Bildung zu thun haben, wage ich deshalb nicht zu entscheiden und beschränke mich darauf, auf die in Fig. 3, Taf. I, versuchte bildliche Darstellung zu verweisen.

b. Kern.

Eine Bräunung der Membranen tritt hier etwas stärker auf, als im Splint (doch ist der Unterschied weder makro- noch mikroskopisch so erheblich, wie in den meisten anderen Fällen). Verhältnissmässig selten findet man in Mkstr.- und Hp.-Zellen sowie einzelnen kleinen Gefässen eine gelbliche Gummiausfüllung mit den bekannten Löslichkeitsverhältnissen. Die grossen Gef. bewirken ihre Verschliessung dagegen durch Thyllen, deren Häute oft die gleiche Bräunung zeigen wie die übrigen Zellmembranen. Es liegt nahe, in dieser — auch schon bei Pistacia Lentiscus konstatirten — verschiedenen Art, die kleinen Gef. einerseits, die auffallend grossen andererseits für Wasser und Luft unwegsam zu machen, eine Zweckmässigkeit zu erblicken, indem die Verschliessung durch Thyllen mit ungleich weniger Material zu bewirken ist.

Die Membranfärbung ist unlöslich in den üblichen Lösungsmitteln und wird nur durch $KClO_3 + HCl$ beseitigt. Wasser und Alkohol färben sich kaum merklich mit Hobelspänen, KOH nimmt bräunlichgelbe Farbe an.

K. Bignoniaceen.

23. Tecoma Ipé Mart.

Zur Untersuchung kam ein von Herrn Dr. Peckolt in Rio de Janeiro erhaltener cylindrischer Stammabschnitt von etwa 11 cm Durchmesser. Der ungefähr 6 cm ausmachende centrale Kern grenzt sich sehr schön und scharf ab, indem er im Gegensatz zu dem holzfarbenen Splint lebhaft gelbroth gefärbt ist.

a. Splint.

Die Holzzellen sind sehr dickwandig, dicht gelagert. Die Mkstr. verlaufen, stets einreihig, sehr geradlinig radial, ihre Zellen sind langgestreckt und schmal. Hp. tritt besonders in der Umgebung der Gef. auf, seltener und wenig deutlich verfolgbar bildet es zusammenhängende, tangentiale Binden. Die Gef., dickwandig und von mässiger Grösse, liegen häufig bis zu sechs in radialer Anordnung zusammen, doch auch einzeln. Bisweilen, einigermaassen häufig nur in der an das Kernholz grenzenden Zone tritt in ihnen ein homogener, hellgelb gefärbter Inhalt auf.

b. Kern.

Sämmtliche Membranen sind röthlichgelb gefärbt (je dicker die Schnitte, desto mehr tritt der röthliche Ton hervor). Ein Inhaltsstoff tritt wesentlich nur in den Gefässen auf, er zeigt sich homogen und, im Gegensatz zum Splint, dunkeler, ins Röthliche gefärbt, offenbar tingirt durch den auch in den Membranen enthaltenen Farbstoff. Mkstr.-Zellen sind nur vereinzelt von diesem Inhalt erfüllt, in Hp.- und Holzzellen wurde er gar nicht beobachtet. Seiner chemischen Natur nach erweist sich der Inhaltsstoff als Gummi. Bezüglich der Löslichkeit des Membranfarbstoffes wurden auch hier Versuche mit feinen Hobelspänen angestellt: Wasser färbt sich beim längeren Maceriren sowohl wie beim Kochen gelb mit röthlichem Ton; der Auszug nimmt beim Ansäuern mittels HCl schön rosa Färbung an, ebenso wird die letztere auf Zusatz von KOH ungleich intensiver; mehrere folgende Auszüge derselben Späne nehmen gleichfalls noch Farbstoff auf, so dass letzterer dann genügend dünnen Schnitten völlig entzogen ist, während dickere noch Gelbfärbung erkennen lassen. Alkohol färbt sich schon kalt schön himbeerroth, beim Kochen nicht merklich intensiver, zahlreiche weitere Auszüge zeigen die gleiche Färbung (in abnehmendem Grade), doch gelingt es nicht, die Schnitte völlig zu entfärben; Zusatz von HCl lässt den alkoholischen Auszug ins Gelbliche umschlagen, KOH macht die Farbe intensiver. Auch die an sich rein gelbe Farbe des Aether-Auszuges wird durch das Alkali in roth verwandelt; übrigens bleibt noch Behandlung mit Aether Gelbfärbung der Membranen bestehen. Verdünnte Schwefelsäure nimmt nur schwach gelbe Farbe an, die rückständigen Schnitte erscheinen lebhafter roth, als zuvor. Kalilauge färbt sich schon bei kalter Einwirkung sehr dunkelroth, noch intensiver beim Kochen; durch Wiederholung des Ausziehens hiermit und Nachwaschen der Schnitte mit Wasser gelingt es, letztere bis auf eine sehr schwache Rothfärbung vom Farbstoff zu befreien.

L. Artocarpeen.

24. Morus alb. L.
(Maulbeerbaum.)

I. Die Institutssammlung

lieferte ein cylindrisches Stück von etwa 10 cm Durchmesser; das Splintholz, dem 3 oder 4 von den insgesammt 12 sehr scharf hervortretenden Jahresringen angehören, ist lichtgelblich, der scharf abgegrenzte, aber etwas unregelmässig contourirte Kern tiefbräunlich gefärbt.

a. Splint.

Die Holzzellen sind hier verhältnissmässig weitlumig und nicht sehr stark verdickt; die schon mit freiem Auge deutlich erkennbaren Mkstr. bestehen meist aus drei, bisweilen aber bis zu 6 Zellreihen und verlaufen durchaus geradlinig. Die Gef. liegen einzeln oder zu zwei bis drei beisammen und sind im Herbst- und Frühlingsholz von sehr verschiedener Grösse, in letzterem oft von sehr beträchtlicher Weite. Hp. tritt nur spärlich auf.

Das Splintholz zeigt helle Holzfarbe; ein gefärbter Inhalt ist nirgends zu beobachten, ebenso sind die Gef. frei von Thyllen, nur in dem innersten, sich wohl schon zur Kernbildung anschickenden Jahresringe waren einzelne solcher wahrzunehmen.

b. Kern.

Hier zeigen die Membranen sämmtlicher Elemente deutliche Gelbfärbung; ausserdem tritt jedoch nur recht vereinzelt, in Mkstr.- und benachbarten Holzzellen ein gelbbräunlicher Inhalt auf, der die Reaktionen des Gummis zeigt; die Gefässe dagegen greifen zu dem wirksamen Verschluss durch Thyllen und zeigen sich von solchen so vollständig ausgestopft, dass die Thyllen-Membranen ein spinnwebartiges Bild geben.

Kochendes Wasser löst den Farbstoff zum grossen Theil mit bräunlichgelber Farbe, ebenso Alkohol, der aber mehr reingelb erscheint; doch bleibt bei etwas dickeren Schnitten in beiden Fällen Färbung der Membranen in gewissem Grade bestehen; mehr gilt das noch von der Einwirkung von Aether und verdünnter Schwefel-

säure, die sich kaum sichtlich färben, dagegen löst KOH reichlicher mit gesättigt gelbbräunlicher Farbe.

Während, wie gesagt, die Gef. im Uebrigen — abgesehen von Thyllen — leer waren, zeigten sich dieselben schon bei makroskopischer Betrachtung der Holzquerschnittsfläche in einzelnen, lokalisirten Zonen mit einer weiss orscheinenden Masse erfüllt. Die Untersuchung dieser Substanz und die Feststellung ihrer chemischen Natur stiess auf Schwierigkeiten, zum Theil deshalb, weil die offenbar spröde und nur lose in den Gef., bezw. Thyllen eingeschlossene Masse aus den in Wasser gelegten Schnitten leicht herausfiel und sich in Schnitten, die in Glycerin betrachtet werden sollten, unter dem Mikroskop gar nicht oder jedenfalls in viel geringerem Maasse, als nach dem makroskopischen Auftreten der weissen Pünktchen zu erwarten war, wiederfand. In Wasser liegend, unter dem Mikroskop betrachtet, erscheinen die Innenräume der betreffenden Gefässe im auffallenden Lichte undurchsichtig - trübe, fast schwarz (offenbar wegen der zwischen den Inhalts-Partikelchen eingeschlossenen Luft). Der fragliche Körper zeigt die folgenden auffallenden Löslichkeitsverhältnisse (wegen der erwähnten Neigung des Körpers zum Herausfallen wurden die Lösungsmittel nicht, wie sonst, im Reagensglas angewandt, sondern nur [aber wo sie nicht sogleich lösend wirkten, wiederholt] unter das Deckglas treten gelassen): unlöslich oder doch sehr wenig löslich in Wasser, aber löslich in Glycerin (es war deutlich das allmälige Abschmelzen von aussen nach innen zu beobachten), löslich in Alkohol (wie bei Glycerin), Aether (rasch!), löslich in concentrirter Essigsäure, aber unlöslich in concentrirter HCl, sowie concentrirter HNO_3! — In den Fällen, wo Lösung eintrat, hinterblieben nur einzelne Fäden, offenbar die Membranen von Thyllen. Dass die Substanz krystallinischer Natur ist, lehrte die Prüfung unter dem Polarisations-Mikroskop: etwas des „weissen“ Stoffes mit der Nadel herauspräparirt schimmerte deutlich in gelb und roth; woraus aber die Kryställchen bestehen, vermag ich nicht zu sagen; Calciumoxalat, wie Calciumcarbonat sind ja durch die Löslichkeitsverhältnisse ausgeschlossen.

II. Holz der lebenden Pflanze.

Es wurden mehrere verschieden starke, 2—4 jährige Zweige, theilweise aus dem Botanischen Garten, theilweise aus dem Versuchsgarten der Landwirthschaftlichen Hochschule untersucht.

a. Normaler Splint.

Der anatomische Befund giebt nach der unter I. gegebenen Beschreibung zu weiteren Bemerkungen keinen Anlass. Das Gewebe ist farblos, Ausfüllungen der Zellen und der Gefässe treten nicht auf, ebenso meist keine Thyllen, nur in dem ältesten Zweigstück wurden einzelne beobachtet.

b. Schutzholz (verschieden alte Verwundungen obiger Zweige).

Mkstr.-, Hp.- und Holzzellen sind häufig erfüllt mit einer mehr oder weniger dunkelgelben Inhaltsmasse, die das Verhalten des Schutzgummis zeigt, und dieselbe Ausfüllung findet sich in einigen kleineren, zu Gruppen vereinigten Gefässen; die die Mehrzahl ausmachenden weiten Gef. aber haben sich reichlich mit Thyllen erfüllt. Wir haben hier also wieder den schon einmal behandelten und gedeuteten Fall, dass die grossen Gefässe von den kleinen in der Art des Verschlusses abweichen. Das Kernholz von Morus zeigte ja ausschliesslich Thyllen-Verschluss der Gef., dort fehlen eben die im jüngeren Holz vorhandenen Gruppen kleinerer Gefässe. Auch bei Morus ist sonach von einer principiellen Verschiedenheit zwischen Kern- und Schutzholz nicht die Rede. — Jene krystallinische Ausfüllung, wie sie beim Kernholz beschrieben wurde, fand sich hier nicht.

Das für Mor. alb. erhaltene Ergebniss wurde weiter bestätigt durch die Untersuchung der verwandten Species Mor. rubr. (var. scabr.); junges Material von Splint und Schutzholz zeigte durchaus Uebereinstimmung mit dem bezüglichen Holz der erstgenannten Species.

25. Maclura aurant. Nutt.

(Synon. Mor. tinctor. L., Broussonet. tinctor. Kunth.)
(Färber-Maulbeerbaum, ächtes Gelbholz.)

I. Aus der Institutssammlung

benützte ich ein cylindrisches Aststück von etwa 5 cm Durchmesser; davon entfällt beiderseitig je 1 cm auf das Splintholz, das übrige — abgesehen von etwa 0,6 cm messendem, centralem Mark — auf den Kern, welch letzterer sich durch orange- bis bräunlich-gelbe Farbe auszeichnet; die Grenze zwischen ihm und dem helleren Splint ist deutlich erkennbar, doch treten auch in dem letzteren bereits einzelne dunkelere Ringe auf.

a. Splint.

Die ein- oder meist dreireihigen Mkstr. verlaufen völlig geradlinig, die ziemlich zahlreichen Gef. sind von erheblicher Weite, die Holzzellen dickwandig, ihre Lumina nur spaltenförmig ausgebildet, oder in anderen Fällen etwas weniger reducirt; in tangentialer Richtung schiebt sich zwischen die Holzzellen vielfach ein reichlich auftretendes, dünnwandiges Hp. Die Schnitte zeigen die gewöhnliche Holzfarbe, oder, wenn etwas dicker, einen gelblichen Ton. Ganz vereinzelt tritt in Mkstr.-Zellen eine gelbe oder gelbbräunliche Ausfüllung, in einigen Gefässen des inneren Splints Thyllenbildung auf.

b. Kern.

Sämmtliche Zellmembranen enthalten einen gelben Farbstoff, so dass nicht allzu dünne Schnitte orangegelb erscheinen; Inhaltsstoffe sind dagegen nur spärlich vorhanden, indem nur die Mkstr.-Zellen, und auch diese keineswegs regelmässig, eine — auch schon beim Splint erwähnte — gelbe bis gelbbräunliche Ausfüllung zeigen. Die Gef. aber sind regelmässig stark erfüllt von Thyllen, die ihren Ursprung aus Aussackungen der benachbarten Hp.-Zellen auch daraus erkennen lassen, dass sie gleich jenen reichlich Stärkemehl enthalten. — Der Membranfarbstoff ist in den üblichen Medien zum Theil löslich: Wasser färbt sich mit Hobelspänen citronengelb, die Schnitte werden heller, aber nicht völlig entfärbt; das Gleiche gilt von der Behandlung mit Alkohol, der sich mehr orangegelb färbt. Durch heissen Aether werden dünne Schnitte völlig entfärbt. Ver-

dünnte Schwefelsäure wird nur wenig gefärbt, und schwache Gelbfärbung selbst mikroskopischer Schnitte bleibt erhalten. KOH giebt eine schön orange- bis rothgelbe Lösung, die damit behandelten Schnitte erscheinen bedeutend heller. — Der Markstrahlinhalt widersteht diesen Mitteln, nur KOH löst ihn wenigstens theilweise.

II. Holz der lebenden Pflanze.

Aus dem Botanischen Garten erhielt ich mehrere etwa federkieldicke Zweige mit älteren Wundstellen.

a. Normaler Splint.

Bezüglich des histiologischen Baues verweise ich auf I. Die Membranen sind hier hell, die Gef. meist frei von Thyllen, nur ein etwas älterer Zweig zeigte Anfänge der Thyllenbildung, sowie auch vereinzelte Ausfüllungen von Mkstr.-Zellen mit gelblichem Inhalt.

b. Schutzholz.

Die Schutzholzbildung äussert sich bei Maclura in Uebereinstimmung mit dem beim Uebergang des Splints in Kernholz Beobachteten in erster Linie darin, dass sich die grossen Gef. durch Thyllen verschliessen (auch hier ist Stärkemehl in den Thyllen zu beobachten). Daneben aber erweisen sich einige Mkstr. und Hp.-Zellen erfüllt mit einer gelben Inhaltsmasse, die häufig deutlich körnig erscheint; andererseits enthalten viele Mkstr.- und Hp.-Zellen Stärkemehl, und, wenn nun weiter einige Zellen beim Tingiren mit Jod-Jodkalium einen sich bläuenden Inhalt neben jenem gelben Ausfüllungsstoff zeigten, so weist das sicher mit Bestimmtheit darauf hin (zunächst für das vorliegende Holz, dann aber auch wohl mit allgemeiner Gültigkeit), dass das Stärkemehl bei der Bildung des Schutz-Ausfüllungsstoffes in hervorragender Weise betheiligt ist. — Das Verhalten des Inhaltsstoffes entsprach hier wiederum dem des Gummis. Die auch auf mikroskopischen Schnitten erkennbare leichte Gelbfärbung der Membranen des Schutzholzes zeigte insofern eine Uebereinstimmung mit der des Kernholzes, als sie auf Zusatz von KOH zunächst intensiver wurde und dann verschwand.

M. Casuarineen.

Bei dem zum Schluss dieses speciellen Theils noch zu besprechenden Genus Casuarina konnte Splint, Kern und Schutzholz nur bei einer Species verglichen werden, bei den übrigen Species stand nur entweder Sammlungsmaterial oder Holz der lebenden Pflanze zur Verfügung. Da sich aber für das Genus Casuarina grosse Gleichartigkeit der Species unter einander hinsichtlich unserer Frage ergiebt, so wird das im Nachfolgenden behandelte Material genügen, um die gleiche Ausbildung von Schutz- und Kernholz auch für Casuarina ausser Zweifel zu stellen.

26. Casuarina equisetifolia Forst.

Südsee-Streitkolbenbaum, Sumpfeiche (liefert „Eisenholz").

I. Sammlungsstück.

Das Holz, von dem aus dem Landwirthschaftlichen Museum ein grösseres, vierkantiges Stück vorlag, ist ganz ausserordentlich schwer und wird deshalb von den Eingeborenen (es stammt von Réunion) zu Streitkolben benützt. Splint und Kern sind nicht sehr markant abgegrenzt, die beiden eigene bräunliche Farbe ist beim Kern nur intensiver (die äusseren Splint-Ringe fehlten).

a. Splint.

Die Holzzellen sind ziemlich regelmässig radial gereiht, ihre Wandungen extrem verdickt, das Lumen kaum punktförmig. Die äusserst zahlreichen Mkstr. verlaufen, einander sehr genähert, meist gerade und werden nur bisweilen durch grosse Gefässe zum Ausbiegen genöthigt; die in einer, zwei, seltener drei Reihen zusammenliegenden Zellen sind kurz und schmal, fast stets erfüllt von einem lebhaft röthlich gelben Inhalt, das Gleiche muss von den Hp.-Zellen gesagt werden, welche ziemlich häufig auftretend als unregelmässig unterbrochene, einreihige, tangentiale Binden im rechten Winkel auf die Mkstr. stossen. Auch der Innenraum der ziemlich zahlreichen, meist beträchtlich weiten, einzeln liegenden Gefässe zeigt in diesem älteren Stadium des Splints bereits in einigen Fällen eine hellgelbe Masse.

b. Kern.

Zum Unterschied auch gegen den älteren Splint sind hier die Gef. fast regelmässig mit homogenem, hellgelbem Inhalt erfüllt, und es gesellen sich hier nun auch die Holzzellen zu den Elementen, welche diese Erscheinung zeigen. Die Unlöslichkeit in kaltem und siedendem Wasser, Alkohol, Aether, sowie KOH und verdünnter Schwefelsäure, zusammengehalten mit dem Eintreten der Temme-schen Reaktion charakterisirt den Inhaltsstoff als Gummi. — Die Membranen sämmtlicher Elemente erscheinen auf mikroskopischen Schnitten lichtbräunlich; die Einwirkung der vorgenannten Agentien hebt diese Färbung nicht auf, und es nehmen dieselben aus Hobelspänen kaum sichtliche Mengen des Farbstoffs fort; nur KOH giebt eine bräunlichgelbe, ins Rothe spielende Lösung.

II. Holz der lebenden Pflanze (aus dem Botanischen Garten).

Es wurden Zweige etwa von der Dicke eines kleinen Fingers, die an einer Stelle eine ältere Querverwundung aufwiesen, untersucht.

a. Normaler Splint dient in erwünschter Weise dazu, das unter I. an älterem Splint gewonnene Bild zu vervollständigen: im Gegensatz zu letzterem zeigt nämlich dieser jugendliche Splint — von Amylum abgesehen — weder in Mkstr.- und Hp.-Zellen, noch in Gefässen einen Inhalt, und das gesammte Gewebe erscheint durchaus hell. Die Holzzellen sind nicht so auffallend verdickt, wie dies im alten Holz angegeben.

b. In Schutzholz von Zweigen desselben Alters, wie unter a. besprochen, sind dagegen die Gefässe sowohl wie die übrigen Zellelemente erfüllt mit homogenem, hellgelbem oder bisweilen röthlichgelbem Gummi — als solches erweist sich ihr Inhalt, der sich dadurch also in Uebereinstimmung mit dem des Kernholzes befindet. — Membranfärbung war nur erst in schwachem Maasse eingetreten.

27. Casuarina quadrivalvis Labill.

(Liefert ein Swamp oak genanntes Nutzholz.)

I. Aus dem Botanischen Garten

lag jugendliches Material der lebenden Pflanze vor.

a. Splint.

Bei dieser, wie bei den nachfolgenden Species finden sich neben schmalen, ein- oder doch wenig reihigen, auch sehr breite Mkstr., hier wurden bis zu 12 Zellreihen gezählt, im Uebrigen ist auf Casuar. equisetifol. zu verweisen.

b. Schutzholz.

Beim Längsaufspalten ist deutliche Röthung des Holzes wahrzunehmen; ausserdem sind hier — abweichend vom Splint, der nichts dergleichen aufweist — die Zellelemente erfüllt mit gelbem Gummi, das die bekannten Reaktionen zeigt.

Später erhielt ich

II. Aus dem Botanischen Museum

ein älteres — im hiesigen Botanischen Garten erwachsenes — Holzstück dieser Species. Das makroskopische Bild der Querschnittsfläche ist sehr ähnlich dem weiter unten bei Casuar. sp. beschriebenen. Deutliche Kernbildung ist noch nicht eingetreten, die dunkleren Zonen bestehen aus Holzzellen, deren dickere Wandungen gelb erscheinen; die Mkstr. setzen sich aus 20—30 Zellreihen zusammen! — Der Gummi-Ausfüllungsstoff tritt nur erst spärlich auf.

28. Casuarina muricata Roxb.

(Strahliger Streitkolbenbaum, liefert „Eisenholz".)

Jugendliche Zweigstücke der lebenden Pflanze des Botanischen Gartens.

Acht sehr breite Mkstr. durchsetzen dem freien Auge erkennbar als regelmässiger Stern die Querfläche.

Der normale Splint sowohl, wie das gut ausgebildete Schutzholz schliessen sich hinsichtlich des anatomischen Baues sowohl,

wie der Löslichkeitsverhältnisse des nur im Schutzholz auftretenden Gummis an das bei den früher behandelten Species darüber Gesagte durchaus an.

29. Casuarina nodiflor. Forst.

Das Landwirthschaftliche Museum lieferte von diesem „Eisenholz aus Neu-Caledonien" ein grösseres Stamm-Segment von etwa 20 cm Durchmesser. Die Abgrenzung des Splintholzes gegen den centralen Kern wird etwas verdeckt durch eine nach der Mitte zu mehr und mehr auftretende Uebergangsfärbung. Die auch hier ausserordentlich stark hervortretenden Mkstr. sind offenbar eine fast durchgehende Eigenthümlichkeit des Genus Casuarina.

a. Splint.

Die Holzzellen zeigen hier ein etwas grösseres und deutlicheres Lumen, als dies bei Cas. equisetif. angegeben ist; Hp. tritt in der Stärke von einer oder zwei Reihen in der bekannten tangentialen Anordnung auf; zwischen den makroskopisch sichtbaren, ausserordentlich vielreihigen Mkstr. verlaufen sehr zahlreich auch weniger breite, nur aus einer bis vier Reihen mässig breiter, ziemlich langer Zellen bestehende. Die Gef. sind unregelmässig vertheilt, theilweise von beträchtlicher Weite; ihr Innenraum ist leer, und nur einzelne Mkstr.- und Hp.-Zellen zeigen eine hell- bis röthlich-gelbe Ausfüllung.

b. Kern.

Hier sind Mkstr.- und Hp.-Zellen fast ausnahmslos, häufig auch die Holzzellen, erfüllt von bräunlichgelbem Inhalt, ebenso die Gef., doch zeigen in diesen die homogenen Gummimassen — als solche geben sich die Ausfüllungen auch bei dieser Species durch die Reaktionen zu erkennen — wieder mehr eine rein gelbe Farbe. Die bräunliche Farbe dieses Eisenholzes ist auf mikroskopischen Schnitten kaum wahrzunehmen, wohl aber an Hobelspänen als Membranfärbung zu verfolgen; solche färben siedendes Wasser ziemlich erheblich bräunlichgelb (ins Röthliche), einen Alkoholauszug mehr reingelb, KOH aber tief bräunlichroth, ohne dass jedoch der Farbstoff den Membranen völlig entzogen würde. Weniger noch ist das durch Aether oder verdünnter Schwefelsäure zu erreichen, welche Mittel fast ungefärbt bleiben.

30. Casuarina spec. (aus Neu-Holland).

Ein wiederum dem Landwirthschaftlichen Museum entstammendes, einer unbestimmten Casuar.-Species angehöriges cylindrisches Holzstück — ich möchte es seiner ganzen Erscheinung nach der Cas. quadrivalv. zuschreiben — misst etwa 6 cm im Durchmesser. Die Mkstr. fallen wieder ausserordentlich ins Auge; sie verlaufen nach dem excentrischen Kern zu, stets rechtwinklig zu den durch dunkelere Zonen gekennzeichneten scheinbaren Jahresringen.

Das mikroskopische Bild fällt wesentlich mit dem bei der vorigen Species beschriebenen zusammen. Wennschon ein deutlich abgegrenztes Kernholz noch nicht gebildet ist, so treten doch in den dem Centrum genäherten Zonen ungleich häufiger Ausfüllungen auf, als dies in den der Peripherie anliegenden Theilen des Holzquerschnitts der Fall ist; übrigens zeigt sich der gelbbräunliche Inhaltsstoff, abgesehen von den Hp.-, einzelnen Holz- und Mkstr.-Zellen, nur erst in wenigen kleinen Gefässen. Er ist wieder unlöslich in kaltem und heissem Wasser, Alkohol, Aether, sowie verdünnter Schwefelsäure und kalter Kalilauge; siedend löst ihn letztere zum grössten Theil, ebenso wie dieses energische Mittel die besonders in den dem Centrum anliegenden Theilen auftretende gelbbräunliche Membranfärbung mindestens heller macht.

Werfen wir nunmehr einen zusammenfassenden Rückblick auf die im Vorstehenden niedergelegten einzelnen Untersuchungsresultate, so wird als hervorstechendstes Ergebniss derselben die stets und in allen wesentlichen Punkten konstatirte Uebereinstimmung zwischen Kern- und Schutzholz derselben Pflanze hingestellt werden müssen. Unter der grossen Zahl der behandelten Stammpflanzen ist nicht eine, bei der sich eine principielle Verschiedenheit beider Zustände des Holzes ergeben hätte.

Halten wir uns zunächst die anatomischen Verhältnisse vor Augen, in welchen sich in den untersuchten Fällen die schon dem freien Auge so scharf erkennbare abweichende Erscheinung des

Kernholzes gegenüber dem Splint ausprägte. Junger, normaler Splint zeigte stets leere Innenräume der Gefässe sowohl, wie — von Stärke, Calciumoxalat u. dgl. sehen wir hier, wie im Nachstehenden, ab — aller übrigen Zellelemente; sämmtliche Zellwandungen waren ungefärbt. — Dem steht als anderes Extrem altes, ausgeprägtes Kernholz gegenüber; hier sehen wir zunächst regelmässig ein Sichverschliessen der Gef., wie der meisten übrigen Zellen eingetreten. Wegen der in der Einleitung bereits berührten physiologischen Bedeutung solcher Veränderung des Holzes ist das Hauptgewicht auf die Thatsache und die Art des Verschlusses der trachealen Elemente des Kernholzes zu legen. Hinsichtlich des Mittels, dessen sich die Pflanze zur Erreichung dieses Verschlusses bedient, fanden wir drei Möglichkeiten vor[1]): In den weitaus meisten Fällen erwies sich die Ausfüllung der Gef. (und sonstiger Zellelemente) als jene von Temme beschriebene, im Gegensatz zum normalen Gummi in Wasser sich weder lösende, noch quellende Modifikation dieses Pflanzenstoffs, die man vielleicht passend als „Schutzgummi" bezeichnen könnte. In anderen, unter den zahlreichen Hölzern jedoch auf zwei, das Guajak- und das fragliche „grüne Ebenholz", beschränkten Fällen zeigte die Zellinhaltsmasse harzartigen Charakter. Eine dritte Klasse aber bilden Hölzer, welche die Verschliessung ihrer Gefässe durch keinen jener beiden Inhaltsstoffe, sondern durch Thyllen bewirken.

Die zweite Erscheinung, welche das Kernholz gegenüber dem Splint darbietet, bezieht sich auf die Zellmembranen; diese, im Splint farblos, oder in seltenen Fällen, besonders im Herbstholz schwach gelblich gefärbt — vermuthlich durch die noch immer mehr oder weniger räthselhafte „inkrustirende Substanz" — zeigen im Kern stets eine in den einzelnen Fällen verschieden starke Färbung; bei unseren meisten einheimischen Laubbäumen dürfte diese

1) Ein Kernholz mit der von Molisch (s. Anm. 4 auf S. 3) behandelten Gefässerfüllung durch Calciumcarbonat befand sich nicht unter den von mir untersuchten; ich glaubte auch keine zwingende Veranlassung zu haben, einem solchen Holz nachzuspüren, da jener besondere Fall durch Molisch erschöpfend besprochen sein dürfte. Uebrigens ist der ganzen Molisch'schen Darstellung zufolge die Kalkablagerung nicht die Ursache, sondern die Folge der Kernbildung, also eine sekundäre Erscheinung, neben dem Kalksalz fand Molisch eine „braune Masse", sowie auch Thyllen.

Färbung auf das nur quantitativ verschiedene Auftreten eines und desselben, sich in den Membranen ablagernden Stoffes zurückzuführen sein, über dessen chemische Natur schwer etwas festzustellen ist, mangels eines Mittels, welches gestattet, ihn getrennt von der „inkrustirenden Substanz" der Membran zu entziehen und zur Untersuchung zu bringen. Bei den so lebhaft gefärbten Kernhölzern aber, wie sie ja vorzugsweise in vorliegender Arbeit behandelt wurden, und wie sie zum Färben vielfach Anwendung finden, wird die Färbung veranlasst durch einen die Membranen durchsetzenden für die betreffende Species oder das Genus charakteristischen Farbstoff (ev. auch deren mehrere nebeneinander).

Während die früheren Autoren[1]) stets davon sprechen, dass derselbe Stoff, welcher die Membranen durchdringe, auch in den Gefässen enthalten sei (oder umgekehrt) und nur erst de Bary in seinem Lehrbuch[2]) es nicht als ausgeschlossen hinstellen will, „dass zwischen dem in der Membran und in den Hohlräumen befindlichen Gemenge Verschiedenheiten obwalten", wird sich aus der Einzelbehandlung der Hölzer zur Genüge ergeben haben, dass, wenigstens bei den hier speciell in Frage stehenden Farbhölzern, unterschieden werden muss zwischen dem Zellinhalt und dem Farbstoff der Membranen. Das lehrt einmal die ja häufig gemachte Beobachtung, dass bereits im inneren Theile des Splints Ausfüllungen der Gef. mit hellgelbem Gummi auftraten, während die Membranen noch durchaus ungefärbt erschienen; erst im Kern desselben Holzes (z. B. Baphia nitid., Physocal. florib., Tecoma Ipé) tingirte dann ein meist rother Farbstoff in gleicher Weise sämmtliche Membranen und das die Zellen erfüllende Gummi; beiden konnte der Farbstoff durch genügend lange Einwirkung von Wasser, Alkohol oder besonders KOH völlig oder annähernd entzogen werden, der Zellinhalt selbst aber blieb durchaus ungelöst.

Die gleichen Umwandlungen, wie sie im Vorstehenden als dem Kern im Gegensatz zum Splintholz eigenthümlich kurz skizzirt wurden, zeigte nun auch das Schutzholz und zwar je bei der-

1) So Th. Hartig in Bot. Ztg. 1859, S. 100, und früher in Allg. Forst- und Jagd-Ztg. 1857, S. 283; und Sanio in Bot. Ztg. 1860, S. 203.

2) Vergleichende Anatomie der Vegetationsorgane (1877), S. 523.

selben Pflanzenspecies zusammenfallend, oder mit anderen Worten: die Erscheinungen der Kernholzbildung lassen sich willkürlich durch Verletzung irgend einer Stelle des Holzkörpers hervorrufen. Holzpflanzen, in deren Kernholz die Gef. mit Gummi erfüllt sind — und dies ist ja der weitaus häufigste Fall — wählen diesen seinen physikalischen wie chemischen Eigenschaften nach dazu vortrefflich geeigneten Stoff auch zum Verschluss der Gef. und sonstiger Zellelemente des Schutzholzes. In dieser Beziehung ist also das Ergebniss Temme's, welcher das Hauptgewicht darauf legt, die bis dahin nur in vereinzelten Fällen bekannte Gummibildung im Holze unter einen allgemeinen Gesichtspunkt gestellt zu haben, nur zu bestätigen.

Demgegenüber ist nun aber umsomehr die beachtenswerthe Thatsache hervorzuheben, dass bei Pflanzen mit harzführendem Kernholz auch die Gef. des Schutzholzes von Harz erfüllt sind, während gleichaltriger normaler Splint nichts davon zeigt. Ich verweise auf die diesbezüglichen Beobachtungen an Guajac. officin., einem Laubbaum, welcher durch jenes Verhalten also in gewisse Beziehung zu den Coniferen tritt, bei denen die Harzbildung im Holzkörper zum Zweck des Wundverschlusses eine längst bekannte und mehrfach beschriebene Erscheinung ist[1]) (wennschon dem Guajakharz und dem Terpenthin der Coniferen wesentlich nur die Zugehörigkeit zu der wenig scharf charakterisirten Gruppe der „Harze", in specie die Alkohollöslichkeit gemeinsam ist).

Sehr hätte ich gewünscht, das an Guajac. gewonnene Ergebniss an anderen Gewächsen mit Harz als Ausfüllungsmittel der Gef. des Kernholzes prüfen zu können, doch war solches Material nicht erhältlich (von dem fraglichen „Diospyr. chloroxyl." lag Schutzholz nicht vor). Mein begreifliches Interesse wurde dadurch erregt, dass Gaunersdorfer die Kernholzelemente von Syring. vulgar. (die erst in HCl roth gefärbt wurden) „durch Einwirkung von Alkohol wenigstens grossentheils von ihrem Inhalt zu befreien" vermochte und mehrfach von gelben, „harzartigen" Gefässinhalten jenes Holzes spricht[2]); meine dadurch erweckte Hoffnung, in Syring. vulg. ein

1) Vgl. Anmerkung 3 auf Seite 6.

2) l. c. S. 24 bezw. 27.

sich an Guajac. anschliessendes Gewächs gefunden zu haben, wurde jedoch sogleich dadurch zerstört, dass die in einem untersuchten Kernholzmuster von Syring. reichlich auftretenden gelben Inhalte sich selbst bei längerem Erhitzen mit Alkohol nicht lösten, auch nicht nach vorgängiger Behandlung mit HCl; ebenso wenig „harzartig“ erwies sich denn auch die (allerdings nur erst in Mkstr.-Zellen beobachtete) Ausfüllung von Syring.-Schutzholz (dagegen ist die Beobachtung Gaunersdorfer's, dass HCl Rothfärbung der Membranen [in Folge Zersetzung des Glykosids Syringin] veranlasse, zu bestätigen.

Was nun weiter die dritte Art des Gefässverschlusses, die Verstopfung durch Thyllen, anlangt, so befand sich auch in dieser Hinsicht mein Material an Kern- und Schutzholz in guter Uebereinstimmung; uneingeschränkt gilt das von Rhus Cotin. und Maclur. aurant., bei denen sich, ebenso wie im Kernholz, so auch an verwundeten Stellen des Splints reichlich Thyllenbildung zeigte, während normaler Splint bei Rhus gar keine, bei Maclura im älteren Theile wenige Thyllen aufwies. Pistac. Lentisc., sowie Mor. alb. bilden weitere Belege für diese Erscheinung, nur mit einer kleinen Beschränkung, darin bestehend, dass bei derselben Species — und zwar demselben Exemplar der Pflanze bezw. des Holzmusters — kleine Gefässe (in Uebereinstimmung mit den übrigen Zellelementen) die gewöhnliche Gummi-Ausfüllung zeigen, die grossen Gef. aber die mit weniger Material zu erreichende Verschliessung durch Thyllen wählen.

Diese Bildung von Thyllen an Wundstellen solcher Zweige, deren normaler Splint keine Thyllen zeigt, zusammengehalten mit dem reichlichen Vorkommen derselben im Kernholz (ausser bei den genannten Beispielen auch bei Cord. Myxa), lässt wohl keinen Zweifel daran aufkommen, dass den Thyllen die gleiche physiologische Funktion zuzuschreiben ist, wie dem Schutzgummi: die Gef. vor dem Eindringen schädlicher Atmosphärilien zu schützen, sowie die Abgeschlossenheit der Gefässluft im tieferen Theile des Splints zu erhalten. Meine Ergebnisse hierüber befinden sich völlig in Uebereinstimmung mit denen Böhm's[1]), welcher Thyllenbildung

1) In den auf S. 2 und 3 angeführten Arbeiten.

einerseits im Kernholz, andererseits an abgestutzten Zweigen, sowie Stecklingen, überhaupt „überall dort erfolgen sah, wo gesundes Holz an abgestorbenes grenzt“. Böhm fand solche Zweige, deren Gef. sich mit Thyllen erfüllt hatten, weder für Wasser, noch für Luft (selbst bei 3 Atmosphären Druck) durchlässig (wodurch also die Tauglichkeit des Thyllenverschlusses für jene physiologische Funktion gewährleistet ist). Reess[1]) bekämpft Böhm's teleologische Meinung über die Funktion der Thyllen sehr entschieden, ohne dass er jedoch durch seine eigenen Untersuchungen etwas Neues und Positives von Belang erfahren konnte; eine bestimmte Regel für das Vorkommen oder Fehlen der Thyllen in einer und derselben Holzart vermochte Reess nicht aufzustellen, er bestreitet aber jeden Einfluss des Beschneidens eines Astes auf die Thyllenbildung und stellt es als fraglich hin, „ob es überhaupt gerechtfertigt sei, aus der vorliegenden Erscheinung um jeden Preis möglichst viel teleologischen Sinn herauszupressen“. Ich nahm hieraus Veranlassung, noch ein paar weitere Holzarten, bei denen das Vorkommen von Thyllen bekannt ist, in dieser Frage zu kontroliren. Hierbei zeigte junger Splint von Querc. pedunc. und Querc. Robur keine Thyllen, in der Grenzzone zwischen gesundem und abgestorbenem Holz wies dagegen ein gleich dünner, beschnittener Zweig reichliche Thyllenausfüllung der Gef. auf (man suche nicht unmittelbar an der Wundstelle, sondern, wie gesagt, in der Grenzzone!); das gleiche Resultat ergab die Untersuchung von jungem Splint und gleichaltrigem Schutzholz von Robin. Pseudacac.: dort keine, hier viele Thyllen; vom Kernholz derselben Pflanze gilt das Nämliche, wie vom Schutzholz (das reichliche Vorkommen von Thyllen in den weiten Gef. der Eiche ist bekannt; erwähnenswerth ist, dass nach Sanio[2]) die Gef. von Querc. pedunc. erst im sechsten Jahrring und später ihre endliche beträchtliche Weite erreichen, was offenbar auch Bezug hat auf den Unterschied jungen und alten Eichenholzes hinsichtlich des Auftretens von Thyllen). Ein etwa 4 cm dickes Sammlungsstück von Broussonet. papyrif. zeigte im Splint einzelne Thyllen, im Kern

1) „Zur Kritik der Böhm'schen Ansicht über die Entwickelungsgeschichte und Funktion der Thyllen“ in Bot. Ztg. 1868, Sp. 1—10. Hier findet sich auch die Literatur über Th. von Malpighi an.

2) Botan. Ztg. 1863, S. 125.

dieselben aber ungleich häufiger (es ist dieses also neben Morus und Maclura ein weiteres Beispiel dafür, dass die Moreen durch Neigung zur Thyllenbildung ausgezeichnet sind).

Allen diesen Beobachtungen gegenüber dürfte die Reess'sche Versicherung, „dass das Beschneiden eines Astes oder Zweiges auf die Thyllenbildung schlechterdings keinen Einfluss ausübe", die auch in de Bary's Lehrbuch (S. 179) übergegangen ist, schwerlich aufrecht zu erhalten sein, wennschon zuzugeben ist, dass gewisse Pflanzen auch ohne Verletzung ihres Holzkörpers im älteren Theile desselben (auch des Splints) zur Thyllenbildung neigen. Es ist in dieser Beziehung weiter noch eine Beobachtung Molisch's[1]) anzuführen, welcher bei Fag. silvat. die Gefässe des „sekundären Wundholzes" und des benachbarten Gewebes reichlich mit Thyllen versehen fand, was Molisch sonst im normalen Gewebe des Stammes nicht wahrnahm. — Bezüglich der Entstehungsweise der Thyllen sei bemerkt, dass die in einer 1845 erschienenen Untersuchung eines (rect. einer) Ungenannten[2]) dargelegte Ansicht, welche in den Thyllen Aussackungen der benachbarten Hp.-Zellen durch die Tüpfel hindurch sieht, und welche seitdem allseits stillschweigend anerkannt worden war, erst von Böhm (1867, l, c.) angefochten ist, indem derselbe statt dessen behauptet, jene eigenthümlichen Gebilde entstünden „durch Ansammlung von Plasma zwischen den Lamellen der Gefässwand, deren innerste Schichte zur Membran der Thyllenzelle auswachse". Reess (l. c.) und Unger[3]) haben jedoch in überzeugender Weise die frühere Ansicht vertheidigt.

Kehren wir nach dieser Abschweifung zur Vergleichung der untersuchten Schutzhölzer mit dem Kernholz je derselben Species zurück, so erübrigt hier nach Behandlung der Zellausfüllungen nur noch auf einen weiteren, die Uebereinstimmung beider Zustände des Holzes vervollständigenden, interessanten Punkt hinzuweisen, der sich bei meinen Untersuchungen ergeben hat. Es betrifft dieser

---

1) In der Arbeit über die Calciumcarbonat-Ablagerung, Sitzungsber. der Wiener Akad., LXXXIV. Bd. (1881), I. Abth., S. 17.

2) „Untersuchungen über die zellenartigen Ausfüllungen der Gefässe", Bot. Ztg. 1845, Sp. 225 ff.

3) „Ueber die Ausfüllung alternder und verletzter Spiralgefässe durch Zellgewebe", Sitzungsber. der Wiener Akad., Bd. LVI (1867), S. 751—768.

die Membranfärbung. Dass die auch bei unseren einheimischen Laubbäumen eintretende Dunkelung des Schutzholzes nicht allein der Zellausfüllung, sondern auch einer freilich nur auf etwas dickeren Schnitten wahrnehmbaren Membranfärbung zuzuschreiben ist, hat bereits Temme betont. Wennschon auch bei meinen Schutzholz-Mustern die Dunkelung, bezw. die Roth- oder Gelbfärbung der betreffenden Zone meist nur schwach und besser dem freien Auge erkennbar, als auf mikroskopischen Schnitten als Färbung der Zellwandungen zu verfolgen war, so ist es mir doch in mehreren Fällen gelungen, das Auftreten eines dem des Kernholzes gleichen Farbstoffes auch im Schutzholz ausser Zweifel zu stellen; diese Beispiele sind Haematoxyl. Campech., Caesalpin. Sappan, Maclur. aurant., Pistac. Lentisc. und besonders Rhus Cotin., auf deren Einzelbehandlung im speciellen Theil daher zu verweisen ist. In anderen Fällen war die Membranfärbung wohl ebenso sichtbar, der Beweis für die Identität des sie veranlassenden Stoffes mit dem Kern-Farbstoff des betreffenden Holzes aber nicht zu erbringen mangels so scharfer Reaktionen für den letzteren, wie sie bei den obigen Hölzern zum Ziel geführt hatten. Bei anderen Wundstellen von Hölzern war zu einer Zeit, als Inhaltsstoffe in den Gefässen u. s. w. bereits reichlich vorhanden waren, selbst makroskopisch eine Dunkelung noch nicht deutlich wahrzunehmen, geschweige denn unter dem Mikroskop eine Färbung der Membranen festzustellen. Hieraus, sowie aus der sonstigen Analogie mit dem Kernholz, für das ich schon Gelegenheit nahm, zu erwähnen, dass hellgelbe Inhalte weit früher auftreten (bereits im inneren Theil von altem Splint), als der die lebhafte Färbung des Kernholzes veranlassende Farbstoff, möchte ich folgern, dass dies auch für das Schutzholz eintrifft. Die gleich starke Ausbildung, wie im Kernholz, wird die Membranfärbung des Schutzholzes dünner Zweige schwerlich jemals erreichen, und ich bin weit entfernt, der auch in diesem Punkte — der Thatsache des Auftretens des Farbstoffes — konstatirten Uebereinstimmung zwischen Kern- und Schutzholz mehr, als principielle Bedeutung zusprechen zu wollen; die letztere aber wird ihr nicht aberkannt werden können.

Hinsichtlich der Herkunft der Farbstoffe des Kernholzes wird man sich unschwer der einleuchtenden Ansicht

Sanio's[1]) anschliessen, dahingehend, dass die Farbstoffe aus dem Zellinhalt herrühren, und dass in der Infiltration derselben in die Membran ein rein physikalischer Vorgang zu sehen ist. „So lange die Lebensspannung der Zelle dauert, bleibt der Inhalt in der Zellhöhlung; hört sie auf, so nimmt die Zellmembran den Inhalt wie ein Schwamm auf und wird durch ihn, wenn er eine Farbe annimmt, gefärbt.“ Diese Ansicht setzt aber voraus, dass die verholzten Membranen für solche ursprünglich gelösten Farbstoffe durchlässig und tingibel sind, und es schien mir nicht überflüssig, in dieser Richtung einige Versuche anzustellen. Ich bereitete aus Hobelspänen der Kernhölzer von Caesalpin. Sappan, Baphia nitid., Tecoma Ipé u. a. durch Auskochen mit Wasser oder Alkohol Farbstoffauszüge und suchte mit diesen ungefärbtes Splintholz zu tingiren; zur Verwendung kam Splint von Betul. alb. und Popul. vulg., sowie derjenigen Stammpflanze, aus deren Kernholz der betreffende Auszug gewonnen war; mikroskopische Schnitte der Splinthölzer wurden mit einer genügenden Menge der Färbeflüssigkeit übergossen mehrere Stunden stehen gelassen, nach dem Herausnehmen längere Zeit in das Medium des verwandten Auszuges (also entweder Wasser oder Alkohol) eingelegt, um überschüssige Farbstofflösung zu entfernen, danach in Glycerin liegend unter dem Mikroskop gemustert; versuchsweise wurde auch in der dahin abgeänderten Weise verfahren, dass die Schnitte auf dem Objektträger mit einem oder wenigen Tropfen eines concentrirteren Farbstoffauszuges übergossen und damit eintrocknen gelassen, danach längere Zeit mit Wasser bezw. Alkohol abgewaschen wurden, doch ergab sich aus diesem Verfahren gegenüber dem einfacheren ersteren kein Vortheil. Der Erfolg war in allen Fällen wesentlich der gleiche und ist dahin zusammenzufassen, dass die verholzten Zellmembranen in der That für solche Pflanzenfarbstoff-Lösungen tingibel sind; Verschiedenheiten ergaben sich nur in der Intensität der von den einzelnen Schnitten angenommenen Färbung; die wässerigen Auszüge erzielten meist eine verhältnissmässig stärkere Färbung, als dies bei den alkoholischen Farbstofflösungen der Fall war, die ersteren sind es ja aber auch ausschliesslich, welche für die in der Pflanze obwaltenden

1) Bot. Ztg. 1860, S. 202—203.

Verhältnisse in Betracht kommen. Beiläufig sei erwähnt, dass auf Schnitten, welche gleichzeitig Theile der Rinde enthielten, die Phloëm-Elemente ungleich stärker gefärbt erschienen, als der Holzkörper, doch wurde dieses Bild hervorgerufen nicht durch Färbung der Membranen des Phloëm-Parenchyms — die vielmehr so gut wie farblos erschienen — sondern des Zellinhalts, der Eiweisskörper u. s. w., deren Aufspeicherungsvermögen für Farbstoffe ja bekannt ist; die dickwandigen Bastfasern schlossen sich dagegen in der Färbung mehr den Xylemelementen an. Besonders bemerkenswerth ist noch, dass selbst beim Kochen auf diese Weise gefärbter Schnitte mit Wasser ein gewisser, wenn auch schwacher Grad der gelben, bezw. röthlichen Färbung bestehen blieb. Es führt uns dies auf einen weiteren Punkt. Wir hatten bei den im speciellen Theil enthaltenen Versuchen über die Löslichkeit der Membranfärbung der Kernhölzer (Haematox. Campech., Caesalpin. Sappan, Baph. nitid., Pterocarp. Santal. u. a.) häufig Gelegenheit, darauf hinzuweisen, dass der dieselbe veranlassende Farbstoff zwar offenbar in Wasser, Alkohol, Aether u. s. w. löslich sei — diese Flüssigkeiten wurden mehr oder weniger stark gefärbt — dass es aber auch bei wiederholter und andauernder, heisser Einwirkung jener Mittel nicht gelinge, die Membranen völlig von Farbstoff zu befreien. Die Erklärung für diese Erscheinung wird in der Struktur der Membran, in der durch dieselbe begünstigten innigen Infiltration der Pigmente in dieselbe und im Zusammenhang damit in dem Thätigsein der Flächenanziehung zu suchen sein. Dass man nicht nöthig hat, im Kern der Farbholzbäume neben dem Pigment noch einen besonderen Stoff anzunehmen, der auch nach Entfernung des Farbstoffes den Membranen stets eine gewisse Färbung ertheile, dürfte aus der oben angegebenen Thatsache abzuleiten sein, dass es nämlich meist nicht gelingt, mikroskopische Schnitte ungefärbten Splints, die man eben erst durch ein solches Pflanzenpigment tingirt hat, selbst durch heisse, andauernde Einwirkung des Mediums der betreffenden Farbstofflösung in den farblosen Zustand zurückzuführen. Diese letztere Erscheinung deutet doch sicher auf ein äusserst energisches Vermögen der verholzten Membranen, Farbstoffe zurückzuhalten; vergegenwärtigt man sich daneben das ganz allgemeine Aufgespeichertwerden von Farbstoffen (z. B. Fuchsin) durch verholzte Zellwan-

dungen, so ist auch die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, eine chemische Verbindung zwischen dem Farbstoff und dem Lignin anzunehmen. — Ich betonte weiter im Früheren mehrfach, dass von den angewandten Lösungsmitteln Kalilauge offenbar am energischsten auf den Farbstoff lösend wirke und in einigen Fällen mehr oder weniger vollständige Entfärbung der Zellwandungen herbeizuführen vermöge; auch hierfür wird sich eine Erklärung unschwer ergeben, dahin lautend, dass KOH zufolge ihrer bekannten quellenden, auflockernden Wirkung am ehesten im Stande ist, das Cellulosegerüst der Membran zu durchdringen und es von dem infiltrirten Pigment zu befreien.

Hinsichtlich der stofflichen Herkunft des so verbreitet aufgefundenen Gummis — um auch diese Frage nicht unberührt zu lassen — glaube ich mich darauf beschränken zu können, auf die bei Temme enthaltenen Ausführungen zu verweisen, da meine Beobachtungen wesentlich auf eine Bestätigung der dort gegebenen Erklärung hinauslaufen. Im Gegensatz zu der bis dahin meist herrschenden Ansicht, dass das Gummi einer Deorganisation der Gefässwandung seine Entstehung verdanke, sprechen sich Temme und Frank, gestützt auf zahlreiche, auf der Beobachtung beruhende Gründe, mit Prillieux (l. c.) dahin aus, dass „der Stoff, welcher zur Erzeugung des Gummis in den Elementarorganen des Holzes dient (abgesehen von dem, welcher in dem parenchymatischen Gewebe direkt durch Umwandlung abgelagerter Stärke entsteht und hier auch theilweise zur Verstopfung des Hohlraums verwendet wird), aus den lebensthätigen Inhalt führenden Zellen durch die Membran in das Lumen jener Organe diffundirt, wo man ihn zuerst in Form ganz kleiner, meist schwach gefärbter Gummitröpfchen auf der inneren Oberfläche der Membran sich secerniren sieht", sowie ferner unter Berücksichtigung der äusserst geringen Diffusionsfähigkeit des fertigen Gummis dahin, „dass dasselbe erst auf der Gefässmembran, wo es secernirt wird, aus einem zugeleiteten diffusionsfähigen Uebergangsprodukte entsteht". — Der Vollständigkeit wegen seien hier ein paar andere, bei Temme nicht angeführte Stimmen für und wider namhaft gemacht: einerseits Sanio[1]) (der übrigens

1) Bot. Ztg. 1863, S. 126.

den Ausdruck „Gummi“ bestreitet) und Gaunersdorfer[1]), welche Beide eine der vorstehenden ähnliche Ansicht entwickeln, und von denen Letzterer in der Gerbsäure das vermittelnde Glied zwischen der Inhaltsmasse des Kernholzes und der Stärke gefunden zu haben glaubt, andererseits Molisch[2]), welcher nachzuweisen sucht, dass das Gummi des jüngeren Ebenaceenholzes im trachealen System aus der inneren Zellwandschicht entstehe. — Sorauer nimmt in der zweiten Auflage seines „Handbuchs der Pflanzenkrankheiten“[3]) eine vermittelnde Stellung ein. — Ich habe nun bei meinen anatomischen Untersuchungen — im speciellen Theil ist mehrfach darauf hingewiesen — sehr häufig die Membran der Gefässe als durchaus intakt beobachten können, auch in Fällen, wo eine homogene Gummimasse bereits das ganze Lumen erfüllte (z. B. Physocal. florib.) und nicht minder häufig (Diospyr. Kaki und lotus, Swietenia Mahagoni u. a.) im Kernholz sowohl wie im Schutzholz mikroskopische Bilder erhalten, die das Gummi gerade in demjenigen Stadium aufwiesen, welches für die Entstehungsweise desselben — Eindringen in den Innenraum der Gefässe von aussen in ursprünglich flüssiger Form — beweisend ist: es ist dies das Hineinragen scharf umschriebener Tropfen in das Lumen, sowie das Sichausbreiten des Gummis als Belag über mehr oder minder weitreichende Strecken der auch hierbei als in ihren Verdickungsschichten intakt erhalten zu beobachtenden Gefässwandung (Fig. 1, Taf. I). — Es soll übrigens die von Gaunersdorfer und Sorauer betonte Möglichkeit nicht als ausgeschlossen bezeichnet werden, dass bei langdauernder Gummierfüllung der Gef. die innere Membranschicht der letzteren angegriffen und nachträglich mit in die Gummimasse hineingezogen werden kann.

Kann ich mich sonach der Ansicht Molisch's hinsichtlich der Entstehungsweise des Gummis im Holze der Ebenaceen nicht anschliessen, so möchte ich mich auch noch mit ein paar Worten gegen den Ausspruch desselben Autors wenden, dass die dunkelen Ausfüllungen im Kernholz der Diospyr.-Arten humusartige Körper

1) l. c. S. 22 und 40 (Ergebnisse).
2) In der Ebenaceen-Arbeit, l. c. S. 66 ff.
3) 2. Aufl. 1886, I. Theil, S. 870.

seien. Der allein dafür ins Feld geführte Versuch, dass der heissbereitete Auszug fein gefeilten Kernholzes mittels Natriumcarbonats, filtrirt, auf Zusatz von HCl tiefbraune Flocken ausschied, und dass die rückständigen Späne mit verdünnter Kalilauge noch weiter ein dunkles Filtrat gaben, das, mit HCl übersäuert, einen braunen, flockigen Niederschlag fallen liess, scheint mir denn doch noch nicht beweisend für die angenommenen „Humussäuren" und „Humuskohle". — Fast noch weiter geht Bělohoubek in der bereits früher angeführten Arbeit. Dieser sieht sich dadurch, dass der schwarze Farbstoff des Ebenholzes bezüglich der Löslichkeit weder mit den Eiweisskörpern, noch mit den Harz- oder Gummi-Arten, noch mit irgend einem Fett übereinstimme, zu der Ansicht gedrängt, dass in der ursprünglich ungefärbten Muttersubstanz desselben (die Bělohoubek aus Mangel an jungem Ebenholzmaterial nicht sicherstellen konnte) ein Reduktionsprocess um sich greife, der schliesslich zur Bildung von Kohle führe. Bělohoubek fand nämlich bezüglich des Verhaltens zu gewissen Lösungsmitteln auffallende Aehnlichkeit des Ebenholzfarbstoffs mit Braunkohle und natürlich verkohltem Eichenholz — alle drei enthielten reichlich Humussubstanzen — und hält den löslichen schwarzen Inhalt des Ebenholzes für Humussäuren, den in Alkalien unlöslichen Theil, der vollkommen verbrennbar sei und hierbei CO_2 liefere, für Kohle. Der hier behauptete Fall, dass „die Bildung von Kohle, die Carbonisation pflanzlicher Stoffe physiologisch in einer lebenden Pflanze vor sich gehe", muss sicher in hohem Grade auffallend und bedenklich erscheinen; welch ungeheuere Energie muss dazu erforderlich sein, Gummi (denn das ist auch nach Molisch jene Muttersubstanz) zu elementarem Kohlenstoff zu reduciren, $(C_6 H_{10} O_5)$ n zu C! und zumal innerhalb eines einzigen Jahres! (erscheint doch die Ausfüllung im letzten Jahresring des Splints noch hellgelb, im ersten Kernholzring aber bereits „kohlig"!). — Von dieser grossen Unwahrscheinlichkeit abgesehen, scheint es mir auch in Hinblick auf das von mir beobachtete chemische Verhalten der Inhaltsmasse des Ebenholzes ausgeschlossen, dieselbe als „Kohle", zusammen mit „Humussäuren", anzusprechen. Für beweisend möchte ich insbesondere das Verhalten gegenüber Kaliumchlorat und verdünnter HCl halten; durch diese Mischung wurde nämlich der schwarze Inhaltsstoff der ver-

schiedenen Ebenhölzer — besonders deutlich beobachtete ich es bei Diospyr. Kaki, lotus (Kern- und Schutzholz) und Kurzii — entfärbt (oder vielmehr er zeigte jetzt die gelbe Farbe und überhaupt die ganze Erscheinung des homogenen, gelben Gummis im älteren Splint) und alkohollöslich gemacht. Bei „Kohle" dürfte ein solches Verhalten nicht möglich sein; ich sehe in dem schwarzen Inhaltsstoff des Kerns der Ebenhölzer lediglich das so verbreitete „Schutzgummi", das hier nur durch einen auch in den Zellmembranen vorhandenen, sehr dunkelen, resistenten Farb- oder ähnlichen Stoff tingirt ist.

Nachdem Temme die thatsächliche Bestätigung seiner Vermuthung, „dass die Pflanze nicht nur an wirklichen Schnittflächen, sondern weit allgemeiner an allen Orten, wo, durch welche Veranlassung auch immer, der Abschluss des Holzsystems nach aussen aufgehoben oder gefährdet sei (so bei Abfall der Blätter, der Fruchtstiele, der sich ablösenden Zweige), denselben durch Gummibildung wieder herzustellen suchen werde", konstatirt hatte, ist von ihm bereits die interessante Beobachtung gemacht worden, dass in einem besonderen Falle die Dichtung der Fibrovasalstränge einer solchen natürlichen Wunde unterblieb, weil durch ein anderes Mittel ein früherer Abschluss erreicht, der Verschluss durch Schutzgummi also unnöthig geworden war: in an Birnbaumzweigen befindlichen Narben abgefallener Fruchtstiele war keine Gummibildung in den durchgehenden Fibrovasalsträngen zu finden, statt dessen waren dieselben durch eine nahe unter der Wundstelle im Grundgewebe entstandene, lückenlos zusammenhängende Korkplatte völlig durchschnürt. Ich kann in dieser Beziehung nun über eine weitere, beachtenswerthe Thatsache berichten.

Ausgehend von der Frage, ob die Pflanze auch in dem Falle, dass durch Nachhülfe seitens des Menschen bereits ein Abschluss verletzter Stellen des Holzkörpers nach aussen bewirkt ist, darauf verzichten werde, einen solchen Abschluss durch Gummibildung zu sichern, wurden an ein- bis dreijährigen, gesunden Zweigen kräftiger

Bäumchen von Betul. alb., Fraxin. excels. u. a. zahlreiche Tangential-, wie Querverwundungen angebracht (letztere zum Theil mit, zum Theil ohne Berücksichtigung der Nähe von Seitenzweigen oder Knospen), und ein Theil dieser Wunden sofort sorgfältig verschlossen durch eine Art Baumkitt, dessen Zusammensetzung jedoch so gewählt war, dass eine durch ihn etwa bewirkte Zellerfüllung sich durch Alkohollöslichkeit von dem Schutzgummi unterscheiden sollte (es wurde deshalb der übliche Wachszusatz fortgelassen, vielmehr nur Colophonium mit einer zur passenden Consistenz genügenden Menge gemeinen Terpenthins zusammengeschmolzen). Von Zeit zu Zeit wurde dann eine Wundstelle abgeschnitten und auf das Auftreten der Schutzholzbildung hin untersucht. Es ergab sich dabei nun, dass zu einer Zeit, wo die nicht verschlossenen Wunden die Bethätigung der Selbsthülfe durch Schutzholzbildung bereits deutlich zeigten, an den von vornherein vor Luftzutritt geschützten — verschmierten — Wundstellen weder mit freiem Auge, noch bei mikroskopischer Betrachtung etwas derart zu erkennen war.

Da das Beschneiden der Zweige im December vorgenommen wurde, so war bei dem Versuch gleichzeitig zu verfolgen, wie ungleich langsamer die Schutzholzbildung im Winter, wo die Lebensthätigkeit der Pflanze ruht, eintritt, gegenüber der dafür günstigeren Jahreszeit, wo reges Leben in den Gewächsen pulsirt: im Januar bis März wiederholt vorgenommene Untersuchungen ergaben stets noch keine erkennbare Ausfüllung der Zellelemente, und erst Anfang April machten sich Anfänge der Schutzholzbildung an den nicht bedeckten Wundstellen sichtbar. Wäre in den die Dunkelung solcher Stellen veranlassenden Erscheinungen nicht, wie dies jetzt erwiesen sein dürfte, eine Aeusserung der lebensthätigen Selbsthülfe der Pflanze, sondern mit R. Hartig eine beginnende Zersetzung des Holzes zu erblicken, veranlasst durch von der Wundfläche her mittels der Atmosphärilien in das Innere der Organe eingeführte „Humusverbindungen“, so dürfte solche Veränderung des Holzes im Winter bei dem Einfluss des Schneewassers u. s. w. im Gegentheil recht bald zu warten sein. — Weiter war gelegentlich vorstehender Versuche an Betul. alb. eine interessante Wahrnehmung zu machen: der bei der Birke im Frühjahr auftretende Blutungssaft war an künstlich geschützten Zweigen, wo der Holzkörper keine Veränderung

erlitten hatte, bis zur Schnittfläche emporgestiegen und hatte den Kitt mechanisch aufgetrieben; an den Zweigen aber, deren Wundstellen sich selbst überlassen waren, zeigten sich die letzteren trocken: das Blutungswasser hatte offenbar die Schutzholzschicht bereits umwegsam gefunden. — Es mag als nicht ausgeschlossen bezeichnet werden, dass bei längerem Belassen von künstlich bedeckten Schnittflächen an der Pflanze die letztere doch schliesslich — ob in Folge allmäligen Undichtwerdens des künstlichen Verschlusses? — zur Gummibildung schreitet. Ich bemerke das, weil Gaunersdorfer angiebt, dass beim Verkleben der Wundfläche mit Baumwachs das Vertrocknen der Fläche nur „weniger tief" erfolge, und sich gleichwohl eine „Kernschicht" bilde (so bezieht sich auch Gaunersdorfer's Untersuchung von Aescul. Hippocastan., wo die bei Syringa beobachtete gelbe bis gelbbräunliche Masse reichlich auftrat, auf einen 5jährigen Zweig, dessen Wundfläche, mit Baumwachs verschlossen, aber 21 Monate am Baum belassen war).

Theoretisch wird nach vorstehenden Ergebnissen das besonders bei Obstbäumen übliche Theeren oder Bedecken mit Baumwachs, wenigstens bei kleineren Wunden unterbleiben können, da die Pflanze sich selbst schützt; für sehr grosse Wundstellen, z. B. Schnittflächen sehr dicker Aeste, wo das definitive Schutzmittel der Pflanze, die Ueberwallung, nur langsam eintreten kann, will auch Temme jene Behandlungsweise aufrecht erhalten. Aber auch an kleineren Wunden gewährt das Abschliessen derselben gegen aussen, wie Gaunersdorfer richtig bemerkt, insofern einen Nutzen, als es das Eindringen saprophytischer Pilze in das Pflanzeninnere verhindert, die andernfalls auf die Bildung der Schutzholzschicht oft störend einwirken.

Bei etwas allgemeinerer Auffassung der ganzen Frage steht mit dem eben Behandelten in gewisser Beziehung eine Beobachtung Tschirch's[1]); derselbe stellte nämlich fest, dass dem bei Verletzung des Stengels persischer Umbelliferen (der Stammpflanzen der wichtigen Gummiharze Asa foetid., Ammoniac., Galban.), wie solche namentlich durch Insektenstich sehr häufig veranlasst wird,

1) „Die Milchsaft-, bezw. Gummiharz-Behälter der Asa foetid., Ammoniac. und Galban. liefernden Pflanzen" in Archiv d. Pharmacie, 24. Bd. (1886), Heft 19.

aus den dadurch geöffneten Milchsaftbehältern in sehr reichlicher Menge ausfliessenden Sekrete die Bedeutung eines Wundbalsams zukommt. Es war nämlich in den Rindenpartien eines durch Insektenstich verwundeten Stengels von Dorema glabr. eine Korkbildung nirgends eingetreten — eben wegen des durch das Gummiharz bereits gesicherten Schutzes — (wohl aber an den Stellen, wo die Wunde den Holzkörper erreichte, ein Verschluss der Tracheïden durch Schutzgummi); ebenso wenig zeigten die Ränder einer Stichverwundung eines Stämmchens von Ferul. ovin. Korkbildung. Durch diese Beobachtung Tschirch's dürfte bezüglich der Gummiharze die von de Vries[1]) ganz allgemein für alle Sekrete, von denen ein weiterer Nutzen im Leben der Pflanze nicht bekannt ist, hypothetisch ausgesprochene und durch Ueberlegungen, nicht allerdings durch Versuche wahrscheinlich gemachte Bedeutung als Schutzmittel der betreffenden Pflanze bei Verwundungen sichergestellt sein.

Wenn in vorliegender Arbeit so vielfach von einem „Gummi" des Kern- und Schutzholzes die Rede ist, so wird es nicht unerwähnt bleiben dürfen, dass von anderer Seite die Bezeichnung „Holzgummi" für einen ganz allgemein im Holze, wenigstens der Laubbäume aufgefundenen Stoff in Anspruch genommen worden ist; es geschieht das in „Chemischen Untersuchungen über die Zusammensetzung des Holzes" von Th. Thomsen[2]). Thomsen erhielt, als er die so verschieden lautenden Ansichten über die Natur der „inkrustirenden Substanz" durch eigene Untersuchungen klären wollte, zunächst aus Birkenholz durch verdünnte Natronlauge einen Auszug, der beim Uebersättigen mit verdünnten Säuren oder bei Zusatz von Alkohol einen starken Niederschlag fallen liess; denselben Stoff, wie er in diesem Niederschlag vorlag, stellte Thomsen in mehrfach abgeänderter Weise aus anderen Holzarten dar; es gelang ihm, „durch verdünnte Natronlauge aus dem Holze der ver-

1) „Ueber einige Nebenprodukte des pflanzlichen Stoffwechsels" in Landw. Jahrb., X. Bd. (1881), S. 686, 717.

2) Journal f. prakt. Chemie, neue Folge, Bd. 19 (1879), S. 146—168.

schiedenen Laubbäume wechselnde, immer aber sehr bedeutende Mengen (8—26 %) einer mit der Cellulose isomeren Substanz auszuziehen“ (in den Nadelhölzern scheint dieselbe zu fehlen oder nur in verschwindend kleiner Menge aufzutreten; die Laubbäume zeigen meist von der Peripherie nach dem Centrum zu Anwachsen der Menge des Holzgummis). Thomsen bezeichnet diese Verbindung, „welche sich in ihren Eigenschaften am nächsten den unlöslichen Gummiarten anschliesst, vorläufig als „Holzgummi“, ob es sich gleich in mehreren Beziehungen von der gewöhnlichen Gummisäure unterscheidet.“ Es schien sich mir zu verlohnen, dieser Frage etwas näher zu treten, wenn auch weniger auf dem von Thomsen ausschliesslich befolgten makrochemischen Wege.

Zunächst[1]) wurde erwiesen, dass Thomsen's „Holzgummi“ nicht identisch ist mit dem Schutzgummi des Kern- und Schutzholzes. Ging das ja freilich schon aus der Unlöslichkeit des letzteren bei der stets vorgenommenen Prüfung mit Kalilauge hervor, so wurden doch auch noch mikroskopische Schnitte von Schutzholz (Berberis) und Kernholz (Adenanth., Diospyr. Eben., bei letzterer Uebergangszone mit gelber und schwarzer Ausfüllung) nach Thomsen's Angabe erst mit verdünntem Ammoniak, dann (nach Abwaschen mit Wasser) mit Natronlauge von 1,19 spec. Gewicht je 24 Stunden macerirt.[2]) Holzgummi hätte sich hierbei gelöst haben müssen, die Ausfüllungen der Schnitte waren aber nach wie vor zu beobachten. Sodann suchte ich mikroskopisch, bezw. mikrochemisch die Art der Einwirkung der Thomsen'schen Behandlung auf den Holzkörper zu verfolgen, um daraus vielleicht Schlüsse ziehen zu können, und es ist dieser Weg in der That von Erfolg begleitet gewesen. Möglichst zarte Schnitte durch jungen Splint von Betul. alb. wurden vor und nach jener Behandlungsweise mit einander verglichen: Auf unbehandelten Schnitten liessen Holzzellen

---

1) Diese Holzgummi-Frage ist es wesentlich, auf die sich die Benützung der Notizen des Herrn Knigge (s. S. 9) beschränkt.

2) Von der auch von Thomsen bald fallen gelassenen vorgängigen Behandlung mit indifferenten Mitteln (Alkohol, Aether) glaubte ich um so mehr absehen zu können, als es sich hier ja nicht um das — auf jene Weise vielleicht etwas reiner zu erhaltende — Holzgummi, sondern um die rückständigen Schnitte handelte.

bei genügend starker Vergrösserung deutlich die drei Membranschichten erkennen; Chlorzinkjod färbte die primäre Membran („Mittellamelle") auch bei längerer Einwirkung nur gelb — sie ist bekanntlich am stärksten verholzt, wie das auch durch Behandlung gleich dünner Schnitte mit Phloroglucin + HCl näher verfolgt wurde; die äussere (sekundäre) Verdickungsschicht färbte sich schwach violett-bläulich, die zarte innerste Membran etwas stärker (Fig. 4, Taf. I). Dem gegenüber steht das Bild, welches gleiche Schnitte aufwiesen, nachdem sie nach einander mit Ammoniak — hier ist noch keine wesentliche Veränderung wahrzunehmen — und Natronlauge von der angegebenen Stärke je 24 Stunden kalt behandelt waren: die Membran der Holzzellen ist stark gequollen, weniger die Mittellamelle, als vielmehr die Verdickungsschichten, welche jetzt nicht mehr von einander zu unterscheiden sind und nur noch ein sehr kleines Lumen einschliessen. Bei Einwirkung von Chlorzinkjod auf solche Schnitte färbte sich die Mittellamelle wiederum nur gelb, die aus den beiden Verdickungsschichten hervorgegangene, stark gequollene Zone dagegen nahm sogleich bläulichviolette Färbung an (Fig. 5, Taf. I).

Andererseits wurde nach Thomsen's Angabe auch aus Splintholz von Fraxin. excels., sowie aus Fernambuc-Holz Holzgummi dargestellt, und dasselbe zu mikrochemischen Reaktionen verwandt. Das wichtigste Ergebniss derselben dürfte darin bestehen, dass sich das Holzgummi mit Chlorzinkjod sehr bald bläut, mit Jodtinktur deutliche, mit Jod-Jodkalium schwache Gelbfärbung giebt, mithin ganz das Verhalten von Cellulose zeigt.

Halten wir damit zusammen, was die vorstehend beschriebene mikroskopische Betrachtung von Schnitten vor und nach der Behandlung nach Thomsen lehrt, dass sich nämlich die Einwirkung der Thomsen'schen Behandlung des Holzes wesentlich auf die sekundäre Verdickungsschicht äussert, so dürfte der Schluss nahe liegen, dass das Thomsen'sche „Holzgummi" dieser stark gequollenen und offenbar aufgelockerten und angegriffenen Schicht, welche vorzugsweise die Cellulose-Reaktion giebt, entstammt, und dass wir es hier mit nichts Anderem, als gewissen, etwas modificirten (in NaOH löslichen) Antheilen von Cellulose zu thun haben. — Es

ist für diese Ansicht auch eine Arbeit Wieler's[1]) anzuführen. Im Auszug lässt sich dieselbe nicht mittheilen, und, indem ich deshalb auf die Arbeit selbst verweise, kann ich nur angeben, dass Wieler auf Grund bei Holz-Analysen erhaltener, sehr grosser Differenzen zwischen der indirekten und direkten Cellulose-Bestimmung zu dem Schluss kommt, das Holzgummi werde „auf Kosten der Cellulose gelöst“ (S. 340—341), und weiterhin (S. 343) äussert: „Die Beziehungen, welche zwischen Metarabinsäure, Holzgummi und Cellulose existiren, lassen es sehr zweifelhaft erscheinen, ob wir es hier wirklich mit verschiedenen chemischen Individuen zu thun haben. Es erscheint nicht unwahrscheinlich, dass ein und dasselbe Individuum in verschiedenen physikalischen Modifikationen auftritt.“

Schliesslich mag noch erwähnt sein, dass Singer[2]) sogar allein durch kochendes Wasser aus Holz, sowie verholztem Gewebe (Hollundermark, Jute) eine „Gummi-Art“ extrahiren konnte, welche „amorph, in Wasser leicht löslich und schäumend, sich von dem Holzgummi Thomsen's durch das Aussehen, die verschiedene Löslichkeit in Wasser und durch das reichliche Auftreten im Fichtenholze unterscheidet.“

Die wichtigeren Ergebnisse der in vorstehender Arbeit beschriebenen Untersuchungen glaube ich in nachstehende Sätze zusammenfassen zu dürfen:

1. Das sich bei Verletzung des Holzkörpers bildende Schutzholz zeigt stets Uebereinstimmung mit dem Kernholz derselben Pflanze.
2. Die drei Ausfüllungsmittel der Gefässe des Kernholzes: Gummi („Schutzgummi“), Harz, Thyllen,

---

1) „Analyse der Jungholzregion von Pin. silvestr. und Salix pentandra, nebst einem Beitrag zur Methodik der Pflanzenanalyse“, in Landw. Versuchsstat. 1885, S. 307—364.

2) „Beiträge zur näheren Kenntniss der Holzsubstanz und der verholzten Gewebe“ im Sitzungsber. d. K. K. Akad. d. Wissensch., Wien 1882, LXXXV. Bd., I. Abth., S. 345—360.

treten auch im Schutzholz auf, im Gegensatz zu gleichaltrigem Splint, je für dieselbe Species übereinstimmend.

Ausfüllung von Gefässen mit Thyllen und Gummi kommt bei derselben Pflanze vor. Grosse Gefässe neigen zum Verschluss mittels Thyllen.

3. Die Membranfärbung des Kernholzes wird auch im Schutzholz beobachtet; besonders bei Farbhölzern gelingt es, die Identität beider nachzuweisen.
4. Thyllenbildung im Holz kommt bei einigen Pflanzen schon früh vor. Altern derselben, sowie Verletzungen des Holzkörpers wirken entschieden beschleunigend und vermehrend auf das Vorkommen von Thyllen und veranlassen die Bildung solcher auch bei Pflanzen, die im normalen jungen Holz gar keine Thyllen zeigen.
5. Die lebhafte Erscheinung des Kerns der Farbhölzer wird durch charakteristische Farbstoffe veranlasst, welche wahrscheinlich, im Zellinhalt gebildet, beim Aufhören der Lebensspannung der Zellen in die Membranen infiltriren. Die innige Einlagerung derselben in die Membran, vielleicht auch eine chemische Verbindung mit dem Lignin, ist die Veranlassung, dass sie der Membran auch durch Mittel, in denen sie an sich löslich sind, meist nicht völlig entzogen werden.
6. Luftdichtes Verschliessen von Schnittflächen des Holzkörpers wirkt verhindernd oder mindestens verzögernd auf die Schutzholzbildung.
7. In dem „Holzgummi“ Thomsen's ist eine in gewisser Weise modificirte Cellulose zu erblicken.

Figuren-Erklärung.

Tafel I.

Fig. 1. Haematoxyl. Campech. L.

Querschnitt durch Schutzholz eines jungen Zweiges, 7 Monate nach der Verwundung. Das mittlere Gefäss ist bereits völlig erfüllt von homogener, gelber Gummimasse; in den beiden anderen sind verschiedene Stadien des Eindringens der Tropfen von aussen zu beobachten, theilweise sind die Tropfen schon zu einem Wandbeleg zusammengeflossen; auch die meisten Hp-, Mkstr.- und Holzzellen sind von verschieden dunkelem Gummi-Inhalt erfüllt. — Vgl. S. 13 und S. 71 des Textes. (Die schwache Membranfärbung ist zu Gunsten der Deutlichkeit des Bildes nicht dargestellt worden.) — 350 fache Vergrösserung.

Fig. 2. Rhus Cotin. L.

Querschnitt durch Schutzholz eines federkieldicken Zweiges, 8½ Monate nach der Verwundung. Beide Gefässe haben sich völlig mit Thyllen erfüllt, deren (etwas zerknitterte) Häute ebenso, wie alle übrigen Zellmembranen hellgelb gefärbt sind. Vgl. S. 31 — 350 fache Vergrösserung.

Fig. 3. Cordia Myxa L.

Aus einem Querschnitt durch älteren Splint eines Sammlungsstücks. In dem Gefäss ein Netzwerk polyëdrischer Maschen, theilweise zerrissen; die Randmaschen hängen mit dem inneren Umkreis der Gefässwand zusammen. Vgl. S. 48 — 350 fache Vergrösserung.

Fig. 4. Betul. alb. L.

Ein paar Holzzellen aus einem zarten Querschnitt durch jungen Splint. Durch längere Einwirkung von Chlorzinkjod hat sich die primäre Membran a gelb gefärbt, die sekundäre Verdickungsschicht b sehr hell violett-bläulich, die zarte innerste Membran c etwas stärker blau. Bezüglich Fig. 4 und 5 vgl. S. 78 — 660 fache Vergrösserung.

Fig. 5. Betula alb. L.

Ein gleicher Schnitt nach Behandlung nach Thomsen. Chlorzinkjod hat die primäre Membran a wieder nur gelb gefärbt, die in Folge jener Behandlung stark gequollenen, in einander übergegangenen Verdickungsschichten b und c aber stark bläulich-violett. — 660 fache Vergrösserung.

Ueber den Antheil des secundären Holzes der dicotyledonen Gewächse an der Saftleitung und über die Bedeutung der Anastomosen für die Wasserversorgung der transpirirenden Flächen.

Von

A. Wieler.

Hierzu Tafel II.

Theoretische Erwägungen hatten mich[1]) zu der Ueberzeugung geführt, dass eine ausgiebige Versorgung der transpirirenden Flächen mit Wasser nur durch den letzten oder die letzten Jahresringe möglich ist, da diese in engster Beziehung zu jenen Flächen stehen. Die einschlägigen Angaben in der Literatur schienen diese Ansicht zu bestätigen. Da diese Angaben nur gering an Zahl sind und weder Eingang gefunden haben in die neueren Hand- und Lehrbücher, noch berücksichtigt worden sind von den neuerlich über Saftsteigen erschienenen Arbeiten[2]), so schien es mir gerathen, die

1) Beiträge zur Kenntniss der Jahresringbildung und des Dickenwachsthums. Pringsheim's Jahrb. XVIII, p. 117 ff.

2) R. Hartig, Ueber die Vertheilung der organischen Substanz, des Wassers und Luftraumes in den Bäumen, und über die Ursache der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen. Unters. a. d. forstbotan. Institut zu München, II, 1882. — R. Hartig, Zur Lehre der Wasserbewegung in transpirirenden Pflanzen. Unters. a. d. forstbotan. Institut zu München, III, 1883, p. 47 ff. — Schwendener, Untersuchungen über das Saftsteigen. Sitzungsberichte der preuss. Akad. der Wissenschaften zu Berlin 1886, 2.

Frage einer erneuten experimentellen Untersuchung zu unterziehen, um die Richtigkeit des Behaupteten bekräftigen zu können. Die nachstehende Arbeit theilt jene Untersuchungen mit; sie bieten im Wesentlichen eine Bestätigung und Ergänzung meiner theoretisch gewonnenen Anschauungen.

Werden die mit secundärem Holze in Verbindung stehenden transpirirenden Flächen auf möglichst directem Wege mit Wasser versorgt, so ist solches auch zu erwarten, wo noch kein secundäres Holz gebildet ist, oder wo es überhaupt nicht gebildet wird. Ist nun auch aus den sehr eingehenden Untersuchungen über den Gefässbündelverlauf zu entnehmen, dass die Blattspuren nie isolirt verlaufen, sondern sich vielfältig mit einander verschränken und vereinigen, wodurch die vorangestellte Vermuthung hinfällig zu sein scheint, so bedarf es doch noch genauer anatomischer Untersuchungen, um zu entscheiden, dass der Verbindung der Gefässbündel unter einander in der That eine organische Verbindung der wasserleitenden Elementarorgane entspricht, ehe auf jene theoretische Forderung Verzicht geleistet werden kann. Da eine solche anatomische Untersuchung der Anastomosen nicht ohne Weiteres ausführbar ist, so schien mir der Versuch geboten, auf experimentellem Wege die bisher noch nicht begründete oder ungenügend begründete Ansicht von der Bedeutung des Gefässbündelverlaufes und der Anastomosen für die Wasserversorgung zu prüfen. Auch hier bilden im Wesentlichen die Ergebnisse eine Bestätigung der theoretischen Forderung.

Obgleich diese Untersuchung zwei scharf formulirte Fragen, welche in der gleichen Vorstellung ihren Ursprung haben, zu beantworten strebt, so kann sie es doch nicht vermeiden, noch auf einige mehr nebensächliche Punkte einzugehen. So vermehrt sie das Material zur Entscheidung der Frage nach der verminderten Leitungsfähigkeit abgeschnittener Sprosse, und so berührt sie kurz die behauptete verschiedenartige Leitungsfähigkeit des Herbst- und Frühlingsholzes.

Ueber die ungleiche Leitungsfähigkeit des Splintholzes.

Schon 1773 hat der Holländer van Marum[1]) geprüft, ob alle Jahresringe gleich gut leiten. Er stellte abgeschnittene Zweige zum Transpiriren in gefärbte Lösungen; alsdann beobachtete er, dass die Färbung im letzten Ringe am intensivsten war und nach dem Centrum hin an Intensität abnahm.[2]) Ueber Versuchsanstellung so wie über die benutzten Species ist der Darstellung nichts zu entnehmen.

Weitere Angaben bietet die Arbeit von Höhnel: Ueber den negativen Luftdruck in den Gefässen der Pflanzen.[3]) Höhnel konnte, als er Zweige unter Quecksilber durchschnitt, beobachten, dass das Quecksilber bis zu beträchtlichen Höhen in den Gefässen aufsteigt; hieraus folgerte er eine Luftverdünnung in diesen. Je nach der Höhe, bis zu welcher das Quecksilber stieg, bei gleicher Gefässweite, musste die Luft eine verschiedene Tension haben. Je bedeutender die Luftverdünnung, um so beträchtlicher der Wasserverbrauch, um so viel besser die Leitung des betreffenden Jahresringes. Bei Juglans regia, Ulmus campestris, Robinia Pseudacacia steigt das Quecksilber nur im letzten Jahresringe in die Höhe, da die Gefässe der übrigen Ringe mit Thyllen verstopft sind. Bei Quercus pedunculata (6 jährig) stieg das Quecksilber im jüngsten Ringe bis 20—38,5 cm, in den folgenden inneren zu viel geringeren Höhen, in den innersten gar nicht; bei Ailanthus glandulosa im letzten Ringe sogar bis 48,5 cm in einzelnen Gefässen, in den älteren Ringen bis zu $^1/_2$—1 mm; bei Aesculus Hippocastanum im ersten Ringe bis 1 cm, im zweiten Ringe bis 4,7 cm; bei Syringa vulgaris im ersten Ringe gar nicht, im zweiten wenig, im dritten bis zu 17,5 cm. Aus diesen Mittheilungen geht eigentlich schon

---

1) De motu fluidorum in plantis, experimentis et observationibus. — Erwähnt bei Treviranus, Physiologie der Gewächse I, p. 287.

2) „Non per omnia ligni vasa aequabiliter moveri humores, evidenter apparet, cum lignum humorem quendam coloratum absorpserit. Tum enim exterius illius stratum fortiori colore imbutum reperitur; quod illi subjacet, dilutiori; et tertium ad hucdum magis diluto vel prorsus nullo, sicut reliqui, colore tinctum deprehenditur.“ (p. 35.)

3) F. Haberlandt, Wissenschaftl.-prakt. Untersuchungen auf dem Gebiete des Pflanzenbaues, II. Bd., 1877, p. 99 ff.

klar hervor, dass nicht alles Splintholz leitet, und dass das leitende verschieden gut leitet.

Zu demselben Ergebniss führen die folgenden von Böhm[1]) gemachten Angaben. „Bei 50 cm langen, fingerdicken Zweigen von Ailanthus, Amorpha, Catalpa und Robinia sind die Gefässe des jüngsten Holzes für comprimirte Luft sehr gut permeabel, die des älteren Holzes aber selbst bei nur 3 cm langen Zweigstücken sowohl für Wasser als für Luft entweder gar nicht (Catalpa, Robinia) oder nur sehr schwer (Ailanthus, Amorpha) durchlässig. Die mikroskopische Untersuchung giebt sofort Aufschluss über die Ursache dieser Impermeabilität. Bei Catalpa und Robinia sind die Gefässe des älteren Holzes völlig mit Thyllen, bei Ailanthus und Amorpha aber theilweise mit einer gummiartigen Substanz erfüllt. Aehnlich wie die Zweige von Catalpa und Robinia verhalten sich auch die von Quercus, nur ist die Gefässerfüllung mit Thyllen weniger constant und stets sehr unvollständig." Bezugnehmend auf die Untersuchungen von v. Höhnel weist Böhm später noch darauf hin, dass die Saftleitung in dem jüngsten Holze stattfindet, da die Wasserbewegung in transversaler Richtung auf grössere Schwierigkeiten stösst als in longitudinaler. Hierbei ist wohl zu beachten, dass Böhm nie ein Anhänger der Imbibitionstheorie gewesen ist.

Da den Angaben von Höhnel und Böhm zu entnehmen ist, dass bereits die Gefässe eines Theiles des Splintholzes verstopft sind, so müssen die leitenden Theile ausfindig gemacht werden können, wenn man unter Quecksilberdruck Farbstofflösungen in die abgeschnittenen Zweige presst. Aber auch dort, wo noch keine Verstopfungen vorhanden sind, wo aber die Tracheen mit Luft von normaler Tension erfüllt sind, wird sich diese Methode empfehlen. Sind im leitenden Theil die Gefässe mit Luft verschiedengradiger Verdünnung erfüllt, so muss sich die verschiedene Leitungsfähigkeit bei Anwendung dieses Verfahrens durch die Vertheilung der Färbung kundgeben. Benutzt man Anilinfarben in wässeriger Lösung, welche aus dieser begierig von den verholzten Membranen aufgespeichert werden, so vermag man leicht ein Bild von der Verbreitung des Farbstoffes in transversaler und longitudinaler Richtung zu erhalten.

1) Ueber die Funktion der vegetabilischen Gefässe. Bot. Ztg. 1879.

Sehr geeignet für solche Versuche ist das Fuchsin, da, so weit die Beobachtungen reichen, sich dasselbe in mikroskopischen Präparaten unverändert hält. Handelt es sich um die Bestimmung der Geschwindigkeit des aufsteigenden Stromes im Holze, so ist die Anwendung von Farbstoffen, wie Sachs überzeugend nachgewiesen hat, nicht statthaft, da die Flüssigkeit dem Farbstoff weit vorauseilt. Für die vorliegenden Versuche ist dieser Umstand belanglos; hier ist nur erforderlich, dass die verholzten Membranen der verschiedenen Jahresringe in gleicher Weise den Farbstoff aufspeichern. Dass dies zutrifft, daran zu zweifeln, liegen keine Gründe vor. Ganz fehlerfrei ist die Versuchsanstellung mit Farbstoffen allerdings nicht; aber diese Fehlerquelle benachtheiligt höchstens das Versuchsergebniss, kann also keinen Einwurf gegen die Methode bedeuten. In Folge des bedeutenden Quecksilberdruckes und der mit derselben Hand in Hand gehenden Diffusion ist die Möglichkeit vorhanden, dass sich der Farbstoff auch über an der Wasserleitung normaler Weise unbetheiligte Abschnitte verbreitet. Hieraus rührt es, dass in den unteren Theilen der Zweige der ganze Querschnitt gefärbt ist. Diese Färbung erstreckt sich dann je nach der Species verschieden weit aufwärts.

Die Versuche wurden im Jahre 1886 im botanischen Institut der Landwirthschaftlichen Hochschule zu Berlin mit mehrjährigen kernfreien Zweigen angestellt. Mit wenigen Ausnahmen sind dieselben dem Garten der Thierarzneischule daselbst entnommen worden. Die Versuchsanstellung war nun im Einzelnen die folgende. Auf dem einen Schenkel eines U-Rohres wurden die Zweige derartig befestigt, dass sie selbst von einem starken Druck nicht losgerissen werden konnten. Das Rohr wurde mit der Farbstofflösung gefüllt; wo nichts Besonderes erwähnt, ist sie eine wässerige Fuchsinlösung. Mit dem anderen Schenkel des U-Rohres wurde ein langes Glasrohr festverbunden und mit Quecksilber gefüllt, so dass die Lösung unter einem wechselnden aber mehratmosphärigen Druck durch die gekappten Zweige durchgepresst wurde. Kurze Zeit nach Beginn des Versuches trat aus den Schnittflächen der Zweigenden farblose Flüssigkeit aus, nach einiger Zeit schwach gefärbte Tropfen, deren Intensität mit der Zeit zunahm.

Nach Beendigung der Versuche wurden die Zweige in Stücke

von einigen Centimetern Länge zerlegt. Bettet man dünne Querschnitte in Canadabalsam oder dicke Gummilösung oder eventuell in Glycerin-Gelatine ein, so lässt sich die Verbreitung des Farbstoffes leicht mit Hülfe des Mikroskopes feststellen.

Im Folgenden soll der grössere Theil der angestellten Versuche ausführlich beschrieben werden.

1. Tilia europaea.

1. Versuch. 25. Aug. Während 3 Stunden wird durch einen 2jährigen Zweig Fuchsinlösung hindurchgepresst unter einem anfänglichen Druck von 165 cm Quecksilber. 17 cm über der Schnittfläche ist der erste Jahresring ungefärbt, der zweite mit Ausnahme des äussersten Theiles des Herbstholzes gefärbt. 27 cm über der Schnittfläche nimmt im zweiten Jahresring die Färbung von innen nach ausen ab.

2. Versuch. 25. Aug. Anfänglicher Druck 130 cm Quecksilber. Versuchsdauer: 1 Stunde. 2jähriger Zweig.

9 cm über der Schnittfläche ist alles gefärbt mit Ausnahme einiger Stellen im ersten Jahresringe und des äussersten Holzes des zweiten Ringes. 17 cm über der Schnittfläche ist der erste Ring ungefärbt, vom zweiten ist die erste Hälfte gefärbt. 26 cm über der Schnittfläche zeigt sich im Wesentlichen dasselbe Bild, nur ist der Farbstoffring nicht mehr geschlossen.

2. Robinia Pseud' Acacia.

1. Versuch. 24. Aug. Anfänglicher Druck 140 cm Quecksilber. Versuchsdauer: $^1/_2$ Stunde. 2jähriger Zweig.

12 cm über der Schnittfläche ist der zweite Jahresring vollständig gefärbt, im ersten treten einzelne gefärbte Gruppen auf. 40 cm über der Schnittfläche ist nur der zweite Ring gefärbt; in demselben treten einzelne nicht gefärbte Gefässe auf. 68 cm über der Schnittfläche ist der gefärbte Ring nicht mehr geschlossen; auch treten im gefärbten Theile einzelne ungefärbte Gefässe auf. 88 cm über der Schnittfläche ist ein Viertel des zweiten Ringes ungefärbt. 106 cm über der Schnittfläche löst sich der frühere gefärbte Ring in einzelne Gruppen gefärbter Gefässe auf.

2. Versuch. 24. Aug. Anfänglicher Druck von 110 cm, in $^1/_2$ Stunde sank er auf 40 cm. 5jähriger Zweig.

10 cm über der Schnittfläche gefärbt der fünfte Ring und einzelne Gefässgruppen im vierten; doch ist deren Zahl auf verschiedenen Seiten des Querschnittes ungleich gross. 30 cm über der Schnittfläche ist der letzte der vier Jahresringe gefärbt; er enthält einzelne ungefärbte Gefässgruppen. 48 cm über der Schnittfläche ist der letzte der drei Jahresringe gefärbt. Die Herbstholzgefässe desselben sind meistens ungefärbt, gleichfalls einige Frühlingsgefässe. 64 cm über der Schnittfläche im Wesentlichen das gleiche Bild. Der Antheil der Herbstholzgefässe an der Färbung gering. 84 cm über der Schnittfläche treten einzelne gefärbte Gefässe auf, und zwar finden sie sich im letzten der beiden vorhandenen Jahresringe.

3. Versuch. 24. Aug. Anfänglicher Druck 120 cm, der während $^3/_4$ Stunden auf 65 cm sank. 4jähriger Zweig.

3 cm über der Schnittfläche sind der 3. und 4. Jahresring gefärbt, allerdings finden sich einzelne ungefärbte Gruppen im 3. Ringe, dafür sind aber einzelne gefärbte im 2. Ringe vorhanden. 18 cm über der Schnittfläche ist der vierte Ring gefärbt; der dritte enthält gefärbte Gruppen auf verschiedenen Seiten in ungleicher Menge. 36 cm über der Schnittfläche ist nur der letzte der drei Ringe gefärbt; doch enthält derselbe auch einzelne ungefärbte Gefässe. 56 cm über der Schnittfläche sind nur einzelne Gruppen von Gefässen im letzten der drei Ringe gefärbt. 75 cm über der Schnittfläche sind wenige Gefässgruppen gefärbt.

3. Sambucus nigra.

1. Versuch. 24. Aug. Annähernd constanter Druck von 135 cm Quecksilber. Versuchsdauer $^3/_4$ Stunden. 2jähriger Zweig.

18 cm über der Schnittfläche sind der zweite Ring und die äussere Hälfte des ersten Ringes gefärbt. 36 cm über der Schnittfläche im Wesentlichen dasselbe Bild; an einzelnen Stellen ist die Färbung auf den äusseren Ring beschränkt; an einer Stelle ist der Farbstoffring sogar unterbrochen. 55 cm über der Schnittfläche ist die Färbung auf den zweiten Ring beschränkt. Das Herbstholz desselben ist fast ganz ungefärbt; auch finden sich im gefärbten Früh-

lingsholz einzelne ungefärbte Gefässe. 74 cm über der Schnittfläche sind einzelne grössere Partien im älteren Theile des zweiten Ringes gefärbt.

2. Versuch. 24. Aug. Annähernd constanter Druck von 114 cm Quecksilber. 2jähriger Zweig.

2 cm über der Schnittfläche sind die äussere Partie des ersten Ringes und der zweite Ring gefärbt. 27 cm über der Schnittfläche ist der zweite Ring gefärbt. 43 cm über der Schnittfläche ist der zweite Ring gefärbt; der Antheil des Herbstholzes desselben an der Färbung ist bedeutend vermindert. 53 cm über der Schnittfläche ist der Farbstoffring nicht mehr geschlossen.

4. Quercus sessiliflora.

24. Aug. Anfänglicher Druck von 108 cm Quecksilber, der in 2 Stunden auf 8 cm sank. 4jähriger Zweig.

16 cm über der Schnittfläche sind der vierte Ring und die meisten Herbstholzgruppen des dritten gefärbt. Einzelne gefärbte Gefässe finden sich in den älteren Jahresringen. 34 cm über der Schnittfläche ist der letzte der drei Jahresringe, namentlich im älteren Theile gefärbt, doch finden sich auch hier einzelne ungefärbte Gefässe. 51 cm über der Schnittfläche tritt Färbung nur im äusseren der beiden Ringe auf, doch ist kein geschlossener Farbstoffring vorhanden, ebenso wenig wie in radialer Richtung alle Gefässe gefärbt sind. 67 cm über der Schnittfläche sind nur wenige Gefässe im zweiten Ringe gefärbt.

5. Iuglans cinerea.

1. Versuch. 25. Aug. Annähernd constanter Druck von 116 cm Quecksilber. Versuchszeit $1^3/_4$ Stunden. 7jähriger Zweig.

Unmittelbar über der Schnittfläche sind die drei jüngsten Ringe gefärbt; in den älteren finden sich einzelne gefärbte Gefässe. 19 cm über der Schnittfläche sind die drei letzten Ringe von sechs gefärbt. 39 cm über der Schnittfläche sind der äussere Theil des zweiten, der dritte und vierte Ring gefärbt. 57 cm über der Schnittfläche dasselbe Bild, nur sind die Herbstholzgefässe des jüngsten Ringes

ungefärbt. 73 cm über der Schnittfläche ist von den drei vorhandenen Ringen gefärbt der äussere Theil des zweiten und der dritte Ring mit Ausnahme der jüngsten Gefässe. Der Farbstoffring ist jedoch nicht mehr geschlossen. 90 cm über der Schnittfläche sind die weiteren Gefässe der äusseren Hälfte des letzten der beiden Jahresringe gefärbt; doch ist kein geschlossener Farbstoffring vorhanden.

2. Versuch. 26. Aug. Der Zweig war am 25. Aug. Morgens besorgt und bis zum Beginne des Versuches mit der Schnittfläche in Wasser getaucht aufbewahrt worden. Annähernd constanter Druck von 170 cm Quecksilber. Versuchsdauer von 3—7 Uhr. 6jähriger Zweig.

12 cm über der Schnittfläche sind der fünfte und sechste Ring gefärbt. Im vierten treten einzelne gefärbte Gruppen auf. 30 cm über der Schnittfläche sind von den fünf Ringen der vierte und fünfte Ring gefärbt; doch treten in beiden ungefärbte Gruppen auf, in fünf weniger als in vier. 49 cm über der Schnittfläche ist der letzte der vier Jahresringe gefärbt; allerdings sind in ihm einzelne ungefärbte Gefässe vorhanden; dafür treten einzelne gefärbte Gefässe im dritten Ringe auf. 68 cm über der Schnittfläche ist die Färbung auf den letzten der beiden Jahresringe beschränkt; doch ist der Farbstoffring nicht mehr geschlossen.

6. Gleditschia triacanthos.

27. Aug. Annähernd constanter Quecksilberdruck von 125 cm. Versuchsdauer $1^3/_4$ Stunden. 5jähriger Zweig.

4 cm über der Schnittfläche ist der jüngste Jahresring ganz gefärbt. Die meisten grösseren Gefässe der älteren Ringe sind auch gefärbt. 17 cm über der Schnittfläche ist der jüngste Jahresring gefärbt; in den älteren Ringen sind vereinzelte Gefässe gefärbt. 33 cm über der Schnittfläche sind der jüngste Jahresring und zwei Gefässe eines älteren gefärbt. 70 cm über der Schnittfläche ist nur der letzte Ring gefärbt.

7. Fraxinus excelsior.

25. Aug. Annähernd constanter Quecksilberdruck von 123 cm. Versuchsdauer von 12—$^1/_2$4 Uhr. 4jähriger Zweig.

5 cm über der Schnittfläche sind gefärbt der 3. und 4. Jahresring mit Ausnahme weniger Gefässe, die Gefässe des Herbstholzes des zweiten Ringes und ein grosser Theil der Gefässgruppen des ersten Ringes. 20 cm über der Schnittfläche sind gefärbt die Frühlingsgefässe des vierten Ringes, einzelne Herbstholzgefässe desselben, einzelne Frühlingsgefässe des dritten Ringes und einzelne diesen benachbarte Herbstholzgefässe des zweiten Ringes. 43,5 cm über der Schnittfläche sind die weiten Frühlingsgefässe des letzten Ringes, einzelne Gefässe des dritten und ganz vereinzelte Herbstholzgefässe des zweiten Ringes gefärbt. 61,5 cm über der Schnittfläche sind die Frühlingsgefässe des äussersten der drei Ringe gefärbt, doch ist der Farbstoffring nicht mehr geschlossen. 83,5 cm über der Schnittfläche zwei Gefässgruppen mitten im einzigen Ringe gefärbt.

8. Aesculus Hippocastanum.

1. Versuch. 21. Aug. Annähernd constanter Quecksilberdruck von 88 cm. Versuchsdauer $1^3/_4$ Stunden. 7jähriger Zweig.

18 cm über der Schnittfläche ist alles mit Ausnahme der primären Gefässgruppen gefärbt. 27 cm über der Schnittfläche sind die ersten $1^1/_2$ Jahresringe ungefärbt. 38 cm über der Schnittfläche ist die Färbung auf den sechsten und siebenten Ring beschränkt.

2. Versuch. 21. Aug. Annähernd constanter Quecksilberdruck von 96 cm von $^1/_2$4—4 Uhr, dann sank das Quecksilber allmählich bis 6 Uhr. 7jähriger Zweig.

12 cm über der Schnittfläche ist alles gefärbt mit Ausnahme des allerersten secundären Holzes. 34 cm über der Schnittfläche sind gefärbt von den vorhandenen fünf Jahresringen der dritte, vierte und fünfte Jahresring und einzelne Herbstholzgruppen des zweiten. 48 cm über der Schnittfläche sind von den vier vorhandenen Jahresringen der dritte und vierte Ring gefärbt, doch sind beide Farbstoffringe nicht geschlossen.

9. Acer platanoides.

1. Versuch. 23. Aug. Annähernd constanter Quecksilberdruck von 96 cm. Versuchsdauer: 1 Stunde. 3jähriger Zweig.

3 cm über der Schnittfläche ist alles mit Ausnahme der primären Gefässgruppen gefärbt. 19 cm über der Schnittfläche sind ungefärbt die primären Gefässgruppen und die jüngsten Gefässe des dritten Ringes. 40 cm über der Schnittfläche dasselbe Bild; 61 cm über der Schnittfläche ist ausserdem noch ein Theil des ersten Jahresringes ungefärbt.

2. Versuch. 23. Aug. Annähernd constanter Quecksilberdruck von 145 cm. Versuchsdauer: $2^1/_2$ Stunde. 3jähriger Zweig.

20 cm über der Schnittfläche alles mit Ausnahme des ersten secundären Holzes und einiger Herbstholzgefässe des letzten Ringes gefärbt. 58 cm über der Schnittfläche tritt die Färbung zurück im Herbstholz des jüngsten Ringes und im ersten Ringe. Ungefärbte Gefässe finden sich ferner im letzten Ringe zwischen den gefärbten. 66 cm über der Schnittfläche sind von den beiden Jahresringen ungefärbt die älteste Partie des ersten Ringes und die äussere Hälfte des zweiten Ringes. 73 cm über der Schnittfläche ist die Färbung beschränkt auf den jüngeren Theil des ersten und auf die erste Partie des zweiten Ringes; letzterer ist jedoch nur dem halben Umfang nach gefärbt. 80 cm über der Schnittfläche sind mehrere gefärbte Gruppen im ersten Ringe und eine im zweiten vorhanden.

10. Taxus baccata.

1. Versuch. Versuchsdauer vom 24. Aug. $^1/_2$7 Uhr Nachmittags bis zum 25. Aug. 9 Uhr Vormittags. Anfänglicher Quecksilberdruck 122 cm. 6jähriger Zweig.

Gefärbt sind höchstens $2^1/_2$ Ringe. Geschlossene Farbstoffringe sind fast gar nicht vorhanden, da das normale Splintholz von braunen ungefärbten Partien durchsetzt ist. Ausserdem verhält sich die Färbung auf verschiedenen Seiten verschieden; bald leiten $2^1/_2$, bald 2, bald nur 1 Ring, aber immer die jüngsten.

2. Versuch. Versuchsdauer vom 31. Aug. 1 Uhr bis 1. Sept.

½10 Uhr Vormittags. Anfänglicher Quecksilberdruck 107 cm, der Tags über annähernd constant gehalten wurde. 7jähriger Zweig.

15 cm über der Schnittfläche tritt Färbung nur in den vier äussersten Jahresringen auf; mit Ausnahme des äussersten Ringes sind dieselben nicht geschlossen, da ungefärbte braune Partien die gefärbten Splintpartien durchsetzen.

Sieht man vorläufig ab von der später zu erklärenden Thatsache, dass bei allen aufgeführten Versuchen mit Laubhölzern das Herbstholz des jüngsten Jahresringes schon sehr frühzeitig ungefärbt ist oder schwächer gefärbt erscheint als das übrige leitende Gewebe, so lässt sich bei allen Species, vielleicht mit Ausnahme von Aesculus Hippocastanum feststellen, dass nur ein Theil des Splintholzes der Zweige leitet, und dass dieser Theil in verschiedenem Grade an der Leitung betheiligt ist, indem der letzte Jahresring den lebhaftesten Antheil an derselben nimmt.

Dass nicht alles Splintholz leitend ist, zeigt besonders deutlich Iuglans cinerea. Auf einem unmittelbar über der ursprünglichen Schnittfläche hergestellten Querschnitt sind von den vorhandenen sieben Jahresringen nur die drei jüngsten gefärbt, während in den älteren Ringen nur einzelne gefärbte Gefässe wahrnehmbar sind. Diese aber können keineswegs von maassgebendem Einfluss auf das Versuchsergebniss sein, wenn man berücksichtigt, dass die Flüssigkeit unter einem Druck von 116 cm Quecksilber durchgepresst wurde. Nicht minder klar liegen die Verhältnisse im zweiten Versuche mit Sambucus. 2 cm oberhalb der Schnittfläche sind von zwei Jahresringen die äusseren 1½ gefärbt. Im dritten Versuch mit Robinia Pseud'Acacia sind 3 cm oberhalb der Schnittfläche von den vier vorhandenen Ringen der dritte und vierte Ring gefärbt, während im zweiten Ringe nur einzelne gefärbte Gefässe vorkommen, von denen das Gleiche gilt wie von Iuglans. Auch die übrigen Versuche mit Iuglans, Sambucus und Robinia bestätigen in zufriedenstellender Weise das Behauptete, wenngleich sie erkennen lassen, dass verschiedene Individuen derselben Species sich nicht schematisch genau verhalten. Den angeführten Species reihen sich

mit Rücksicht auf die Klarheit des Ergebnisses in absteigender Folge an: Taxus, Quercus, Gleditschia, Tilia, Fraxinus, Acer. Bei Acer liess der eine Versuch eine Nichtbetheiligung eines Theiles des Splintes erkennen, während der andere alle drei Ringe als leitend aufwies. Ungünstiger stehen die Verhältnisse für Aesculus, da hier sämmtliche sieben Jahresringe gefärbt sind. Doch kann hieraus noch nicht der Schluss gezogen werden, dass der gesammte Splint leitend ist.

Vernachlässigt man die vereinzelten gefärbten Gefässe in den älteren Ringen, so stellt sich der Antheil der leitenden Zone auf folgende Grössen:

Tilia europaea	1 —2	Jahresringe
Robinia Pseud' Acacia	1 —2	-
Sambucus nigra	1 —2	-
Quercus sessiliflora	1 —2	-
Gleditschia triacanthos	1	-
Iuglans cinerea	2 —3	-
Fraxinus excelsior	3 —4	-
Taxus baccata	$2^1/_2$—4	-
Acer platanoides	$2^1/_2$—3	-
Aesculus Hippocastanum	7	-

Diese Zahlen lehren, dass nicht nur bei den benutzten Zweigen ein sehr geringer Theil des Splintes leitet, sondern dass von dem gesammten Splint nur wenige Ringe leitend sind. Es darf angenommen werden, dass diese Leitungsverhältnisse auch für die nicht untersuchten Species Geltung haben.

Aus den angeführten Versuchen geht deutlich hervor, dass nicht alle Jahresringe des leitenden Theiles des Splintes gleich gut leiten, und dass der Antheil an der Leitung centripetal geringer wird. Die verschiedene Antheilnahme der Jahresringe ist besonders deutlich zu erkennen bei Quercus, Robinia, Sambucus, Iuglans, Gleditschia, Fraxinus. Sind in tieferen Regionen des Zweiges auch mehrere Jahresringe an der Leitung betheiligt, so wird doch aufwärts vorschreitend ein Punkt erreicht, wo die Färbung auf den letzten Ring beschränkt ist.

Gegen den Werth meiner Versuche liesse sich nun einwenden, dass dieselben nicht beweiskräftig seien, da die Wasserbewegung

nicht in der in denselben vorausgesetzten Weise vor sich gehe, sondern ein Vorgang lebender Zellen sei, dass die Thätigkeit der letzteren hier nicht zur Geltung kommen könne, dass hier also, kurz gesagt, keine normalen Verhältnisse vorlägen. Deshalb schien es mir angezeigt, eine Reihe von Versuchen anzustellen, in denen die Farbstofflösung nicht in die Zweige eingepresst wurde, sondern in Folge der Transpiration in denselben aufstieg. Zu diesen Versuchen verwandte ich vorwiegend Methylenblau. Aus Untersuchungen von Pfeffer[1]) ist bekannt, dass dieser Farbstoff in genügender Verdünnung für die Zellen unschädlich ist und mit Leichtigkeit dieselben passirt. Weiter unten werde ich Gelegenheit haben, Beispiele anzuführen, welche diese Beobachtungen in vollem Maasse bestätigen. Wenngleich der Farbstoff in concentrirterer Lösung, als von Pfeffer angegeben, benutzt wurde, so musste derselbe beim Aufsteigen in den Gefässen in Folge der Aufspeicherung in den verholzten Membranen bald so verdünnt sein, dass er für die lebenden Zellen nicht mehr schädlich wirken konnte. Dass aber in der That der Farbstoff die Zellen passirt, ist dadurch bewiesen, dass in einem Versuch mit Quercus die Markstrahlzellen auf weite Strecken hin in dem ungefärbten älteren Holze gefärbt sind. Ferner sind bei Fagus silvatica, Magnolia grandiflora, Quercus sessiliflora, Tilia europaea, Sorbus Aucuparia die Sklerenchymgruppen des Bastes, zum Theil auch der Weichbast gefärbt. Wenn für die Sklerenchymgruppen des Bastes auch die Möglichkeit nicht zu leugnen ist, dass sie direct, durch Aufsaugen der Lösung, nicht vom Holzkörper aus gefärbt worden sind, so bleibt für die Färbung des Weichbastes nur die Annahme übrig, dass die Methylenblaulösung die Zellen desselben passirt, und dass sich der Farbstoff dann so angehäuft hat, dass die Cellulosemembranen gefärbt erscheinen.

Vielleicht wird man auch diesen Versuchen entgegenhalten, dass ihnen keine Bedeutung beizumessen sei, da sie mit abgeschnittenen Zweigen angestellt seien und in diese die Farbstofflösung durch den Luftdruck hineingepresst werde. Ich glaube jedoch, dass ein solcher Einwand ungerechtfertigt sein würde. Natürlich ist nicht zu leugnen, dass in den Versuchen der Luftdruck

1) Bot. Ztg. 1886, p. 114 ff. — Unters. a. d. Tübinger Bot. Inst. II. 2.

einen wesentlichen Antheil an der Wasserbewegung hat; aber ebenso wie in der unverletzten Pflanze können sich auch in unseren Versuchszweigen die Parenchymzellen an der Wasserbewegung betheiligen. Obendrein muss durch das Abschneiden der Zweige und durch den Aufenthalt derselben in der Luft in Folge ihres Transportes anfangs ein Ausgleich der Spannungsdifferenzen der Luft wenigstens zum Theil stattfinden.

Wenn Methylenblau in Folge der Transpiration im Holze aufsteigt, so verbreitet es sich nicht so schnell aufwärts, als wenn der Farbstoff unter einem bedeutenden Druck hindurchgepresst wird. Die gefärbte Strecke ist an und für sich kleiner als bei der anderen Versuchsreihe. Die langsame Bewegung der Lösung gestattet das Auftreten von Diffusionsströmen in transversaler Richtung, wodurch Theile gefärbt werden können, welche sich nicht direct an der Wasserbewegung betheiligen. Trotzdem sind die Ergebnisse der Versuchsanstellung deutlich und stehen in guter Uebereinstimmung mit denjenigen der Druckversuche.

1. Robinia Pseud' Acacia.

1. Versuch. Versuchsdauer: 9.—11. Juli.[1]) 2jähriger Zweig.

14. cm über der Schnittfläche sind der zweite und ein kleiner Theil des ersten Jahresringes gefärbt. Weiter aufwärts ist nur der zweite Ring gefärbt. Je näher der Spitze, um so mehr sind einzelne Gefässgruppen in der Färbung bevorzugt.

2. Versuch. Versuchsdauer: 9.—12. Juli. 2jähriger Zweig.

In der unteren Partie ist gefärbt der zweite Ring und die zweite Hälfte des ersten. Nach oben hin wird der Antheil des ersten Ringes an der Färbung immer geringer.

---

1) Nach den bei diesen Versuchen angegebenen Daten müsste man annehmen, dass die Transpirationsversuche eher als die Druckversuche angestellt sind; doch ist dies nicht zutreffend. Zu allererst sind Druckversuche angestellt worden; mit Rücksicht auf die sich aus denselben ergebenden Einwände wurden alsdann die Transpirationsversuche angestellt, welche jene bestätigten. Alsdann wurde noch eine grössere Reihe Druckversuche angestellt, um das früher gewonnene Ergebniss an einer grösseren Zahl Fälle zu bestätigen. Diese letzteren sind in der ersten Versuchsreihe aufgeführt. Hieraus erklärt sich das spätere Datum derselben.

2. Sambucus nigra.

Versuchsdauer: 12.—15. Juli. 2jähriger Zweig.

7 cm über der Schnittfläche sind der zweite Ring und wenige Zelllagen des Herbstholzes vom ersten gefärbt. Weiter aufwärts vermindert sich die Färbung von innen nach aussen, so dass schliesslich nur die äussere Partie des einzigen vorhandenen Jahresringes gefärbt ist.

3. Quercus sessiliflora.

Versuchsdauer: 12.—16. Juli. 6jähriger Zweig.

9 cm über der Schnittfläche sind die beiden letzten Jahresringe gefärbt. Einzelne gefärbte Gruppen finden sich auch in den älteren Ringen. Weiter aufwärts ist die Färbung beschränkt auf die beiden letzten Jahresringe. In noch grösserer Höhe beobachtet man, dass die Continuität der Ringe aufhört, bis sich schliesslich die Färbung auf einzelne Gefässgruppen beschränkt.

4. Iuglans cinerea.

Versuchsdauer: 9.—12. Juli. 5jähriger Zweig.

13 cm über der Schnittfläche sind gefärbt der fünfte, vierte und dritte Jahresring und ein Theil des Herbstholzes vom zweiten; doch kommen bereits im dritten Ringe ungefärbte Gefässe vor. Die allerjüngste Partie des letzten Ringes scheint schwächer gefärbt zu sein als das Uebrige. 28 cm über der Schnittfläche sind von vier Jahresringen gefärbt der vierte und dritte und ein Theil vom Herbstholz des zweiten. Die jüngsten Gefässe des letzten Jahresringes sind schwächer gefärbt als die übrigen Theile, zum Theil ungefärbt. 41 cm über der Schnittfläche sind von den beiden Ringen die zweite Hälfte des ersten und der zweite Ring gefärbt. Die Farbstoffringe weisen kleine Unterbrechungen auf. Das Herbstholz des letzten Ringes ist grösstentheils ungefärbt oder nur schwach gefärbt. 53 cm über der Schnittfläche sind von den beiden Jahresringen gefärbt der zweite und einige ganz kleine Stellen im ersten. Der Farbstoffring

ist nicht mehr geschlossen. Die Herbstholzgefässe des zweiten Ringes sind fast alle ungefärbt.

5. Fraxinus excelsior.

Versuchsdauer: 9.—11. Juli. 7jähriger Zweig.

11 cm über der Schnittfläche sind gefärbt der siebente, sechste und fünfte Ring und das Herbstholz vom vierten. Weiter aufwärts verschwindet die Färbung schliesslich in den äusseren, so dass Färbung nur in einem mittleren erhalten bleibt. Allerdings sind die jüngsten Ringe ausserordentlich schmal.

6. Aesculus Hippocastanum.

1. Versuch. Versuchszeit: Ende Juni. 2jähriger Zweig.

Gefärbt ist der zweite Ring und das Herbstholz des ersten. Der jüngste Theil des letzten Jahresringes ist weniger intensiv oder fast gar nicht gefärbt.

2. Versuch. Versuchszeit: Ende Juni. 7jähriger Zweig.

6 cm über der Schnittfläche sind gefärbt der siebente, sechste, fünfte und vierte Ring; an einzelnen Stellen reicht die Färbung bis in den dritten Ring. Vereinzelte gefärbte Flecke finden sich auch in den älteren Ringen. 25 cm über der Schnittfläche ist die Färbung auf den letzten Ring beschränkt, doch ist derselbe nicht mehr im ganzen Umkreis gefärbt. — Das Herbstholz des jüngsten Ringes ist ungefärbt.

Ein 3jähriger Seitenzweig zeigt den letzten Ring und das Herbstholz des zweiten Ringes gefärbt.

3. Versuch. Versuchszeit: Ende Juni. 4jähriger Zweig.

5 cm über dem Querschnitt ist der vierte Ring intensiv gefärbt; schwächer gefärbt das Herbstholz des vorhergehenden. Einzelne gefärbte Flecke sind vorhanden in den älteren Ringen. Das Herbstholz des letzten Ringes ist schwächer gefärbt.

4. Versuch. Versuchszeit: Ende Juni. 5jähriger Zweig.

9 cm über der Schnittfläche ist intensiv gefärbt fünf und vier, schwächer gefärbt drei, ungefärbt eins und zwei. — Nach oben gabelt sich dieser Zweig. Etwas über der Ansatzstelle des einen

Tochterzweiges zeigt sich Färbung in dem letzten Ringe und dem Herbstholze des vorhergehenden. In diesem ist die Färbung weniger intensiv als in jenem. Das Herbstholz des letzten Ringes ist schwächer oder gar nicht gefärbt.

7. Acer platanoides.

1. Versuch. Versuchsdauer: 9.—15. Juli. 5jähriger Zweig.

10 cm über der Schnittfläche ist mit Ausnahme des allerersten secundären Holzes alles gefärbt. 42 cm über der Schnittfläche ist der erste und dritte Ring ungefärbt; die übrigen sind zum Theil gefärbt, zum Theil ungefärbt.

2. Versuch. Versuchsdauer: vom 12. Juli bis zum Vertrocknen der Blätter. 5jähriger Zweig.

Im unteren Theil ist alles secundäres Holz gefärbt. Im höheren Theil des Zweiges sind der erste und zweite Ring ungefärbt, der dritte und vierte gefärbt und der fünfte ungefärbt.

8. Magnolia grandiflora.

Versuchszeit: Juli. 2jähriger Zweig.

3 cm über der Schnittfläche ist der zweite Jahresring und der letzte Theil des ersten Ringes gefärbt. Einige Centimeter höher ist nur der zweite Ring gefärbt. Im ersten finden sich noch drei gefärbte Flecke.

9. Sorbus Aucuparia.

Versuchsdauer: 12.—15. Juli. 5jähriger Zweig.

Kurz über der Schnittfläche sind der vierte und fünfte Ring gefärbt. In den älteren Ringen sind einzelne Gefässe, namentlich Herbstholzgefässe, gefärbt. Weiter aufwärts ist die Färbung auf den letzten Jahresring und auf das Herbstholz des vorhergehenden beschränkt; doch sind nicht alle Gefässe des letzten Ringes gefärbt.

10. Fagus silvatica.

Versuchszeit: Ende Juni. 9jähriger Zweig.

4 cm über der Schnittfläche sind die sechs äusseren Ringe gefärbt. 8 cm über der Schnittfläche sind vom oberen Seitenzweig die vier ersten Ringe ungefärbt. 13 cm über der Schnittfläche ist nur der letzte Jahresring gefärbt. Hin und wieder erscheinen die jüngsten Theile des nächst vorhergehenden Ringes schwach gefärbt. Im letzten Jahresringe sind einzelne Stellen intensiver gefärbt.

Der untere Seitenzweig zeigt den letzten Jahresring gefärbt, doch kommen auch gefärbte Partien in den älteren Ringen vor.

11. Pirus malus.

Versuchszeit: Mitte Mai, Fuchsinlösung. 7jähriger Zweig.

8 cm über der Schnittfläche sind der erste und zweite Jahresring bis auf wenige Stellen des Herbstholzes des zweiten ungefärbt. 19 cm über der Schnittfläche ist die Färbung unregelmässig und im Wesentlichen auf die mittleren Jahresringe beschränkt.

12. Prunus Mahaleb.

Versuchszeit: 12. Juli. 7jähriger Zweig.

Gefärbt sind der sechste und siebente Jahresring; doch ist die Färbung nicht durchaus gleichartig. Zuweilen erstreckt sie sich bis in den fünften Jahresring. Einzelne gefärbte Partien finden sich im zweiten und dritten Ringe.

Diese Versuche bestätigen also, dass nur ein Theil des Splintholzes leitet. Auch die Zahl der an der Leitung betheiligten Jahresringe stimmt im Wesentlichen gut überein mit den Ergebnissen der Druckversuche. In der folgenden Tabelle sind die Resultate der Versuche kurz zusammengestellt. Rechts von den Pflanzennamen sind die Ergebnisse der Transpirationsversuche aufgeführt unter Anführung des Alters der Zweige. Links von den Namen sind vergleichsweise die Ergebnisse der Druckversuche angegeben.

Leitende Jahresringe; unter Druck	Pflanzennamen	Leitende Jahresringe bei Transpiration	Alter der Versuchszweige bei Transpiration
1	Gleditschia triacanthos	—	—
1—2	Robinia Pseud' Acacia	$1^{1}/_{2}$	2jährig
$1^{1}/_{2}$	Sambucus nigra	$1^{1}/_{2}$	2 -
2—3	Iuglans cinerea	2—3	5 -
1—2	Quercus sessiliflora	2	6 -
3—4	Fraxinus excelsior	$3^{1}/_{2}$	7 -
7	Aesculus Hippocastanum	$1^{1}/_{2}$—4 { $1^{1}/_{2}$	2 -
	- -	4	7 -
	- -	$1^{1}/_{2}$	4 -
	- -	$2^{1}/_{2}$	5 -
—	Magnolia grandiflora	$1^{1}/_{2}$	2 -
—	Sorbus Aucuparia	2	5 -
—	Fagus silvatica	3—6 { 6	9 -
—	- -	3	6 -
—	Pirus malus	5	7 -
—	Prunus Mahaleb	2—3	7 -
2—3	Acer platanoides	fast 5	5 -

Mit Ausnahme von Aesculus ist die Uebereinstimmung zwischen den Transpirations- und Druckversuchen eine gute. Für Aesculus gestaltet sich das Verhältniss in den Transpirationsversuchen günstiger; hier schwankt der Antheil an der Leitung zwischen $1^{1}/_{2}$ und 4 Jahresringen, während er in den Druckversuchen 7 beträgt. Zugleich ist ersichtlich, dass bei Aesculus grosse individuelle Differenzen vorkommen. Diese kommen auch in Versuchen mit Acer zum Vorschein. In den Druckversuchen waren $2^{1}/_{2}$—3 Jahresringe gefärbt, in dem Transpirationsversuch fast die ganzen fünf. Acer zeigt also das entgegengesetzte Verhalten wie Aesculus.

Nicht minder bestätigt ein Theil der Transpirationsversuche die Ansicht, dass die verschiedenen Jahresringe der leitenden Partie des Splintes verschieden gut leiten, und dass der Antheil an der Leitung centripetal geringer wird. Es sei nur hingewiesen auf die Versuche mit Magnolia, Sorbus, Robinia, Iuglans, Fagus, Sambucus, Acer, Aesculus. Wenn dies Verhalten nicht überall gleich deutlich hervortritt, so mag das zum Theil auf specifische und individuelle Unterschiede zurückzuführen sein, zum Theil wie bei Prunus Mahaleb auf die Kürze der gefärbten Strecke, welche Differenzen in der Färbung nicht scharf wahrnehmen lässt.

Wenn man von dem Herbstholz des letzten Ringes absieht, so rührt das Ausbleiben der Färbung im Splintholze bei den Druck-

und Transpirationsversuchen her von einer Verstopfung der Gefässe durch Thyllen, Gummi oder andere nicht näher charakterisirte Substanzen. Wie Böhm hervorhebt, ist es für die Species charakteristisch, ob die Verstopfung durch Thyllen oder Gummi geschieht. Eine Verstopfung durch Thyllen ergiebt sich für Iuglans, Gleditschia, Robinia, Quercus, Sambucus, Magnolia, Prunus Mahaleb; Verstopfung durch Gummi für Acer, Aesculus, Tilia, Prunus Mahaleb. Es wurde nicht geprüft, ob man hier wirklich mit Gummi zu thun hatte, vielmehr wurde bei Benutzung dieser Bezeichnung dem in der Litteratur herrschenden Gebrauche gefolgt. Verstopft sind die Gefässe auch bei Fraxinus und Sorbus Aucuparia, doch scheinen diese Verstopfungen weder Thyllen noch Gummi zu sein. Bei Fagus konnten keine Verstopfungen aufgefunden werden, doch stehen sie auch hier zu erwarten aus dem gleichen Verhalten mit den übrigen Hölzern. Pirus malus wurde nicht geprüft.

Reichen die Verstopfungen bis zu der Schnittfläche und füllen sie die Gefässe ganz aus, so wird selbst unter bedeutendem Quecksilberdruck durch diese Gefässe keine Farbstofflösung hindurchgepresst; reichen die Verstopfungen nicht so weit abwärts oder sind die Gefässe nicht vollständig verschlossen, so ist das Holz in den unteren Theilen gefärbt, in den oberen Theilen ungefärbt. Hieraus wird im Wesentlichen die verschiedene Leitungsfähigkeit der leitenden Jahresringe erkannt. Prüft man auf Verstopfungen den Zweig aus dem zweiten Druckversuch mit Acer platanoides, so beobachtet man folgendes Verhalten. 20 cm über der Schnittfläche sind drei Jahresringe vorhanden, von denen die primären Gefässgruppen und die ersten Gefässe des secundären Holzes des ersten Ringes ungefärbt, weil verstopft, sind. 66 cm über der Schnittfläche sind zwei Jahresringe vorhanden; von denen ist ungefärbt die ältere Partie des secundären Holzes aus dem ersten Ringe; der Farblosigkeit entspricht auch hier wieder eine Verstopfung. Hier ist also ein halber Ring verstopft, der 46 cm tiefer unverstopft und intensiv gefärbt ist. Um zu entscheiden, ob diese Verstopfung nicht etwa eine pathologische Erscheinung ist, wurde im November 1887 ein frisch abgeschnittener Zweig untersucht. An der Schnittfläche mochte er 13 oder 16 Jahresringe zählen (ein exactes Zählen war unmöglich, da die Ringe sehr schmal sind und unregelmässig verlaufen). An der Schnittfläche zeigen die vier ersten Jahresringe

Verstopfungen. Ein dreijähriger Seitenzweig aus grösserer Höhe zeigte den ersten Ring mit Verstopfungen erfüllt. Dies bedeutet also einen Unterschied von mindestens acht Ringen, um welchen der leitende Theil an der Schnittfläche zugenommen hat. Diese Prüfung beweist, dass der oben angeführte Versuch normale Verhältnisse aufweist.

Ein weiteres lehrreiches Beispiel bietet Fraxinus. 5 cm über der Schnittfläche ist von vier Ringen nicht einmal der ganze erste Ring ungefärbt und verstopft. 43,5 cm über der Schnittfläche ist fast alles mit Ausnahme des letzten Ringes verstopft.

Aehnliche Verhältnisse weist Iuglans auf. 13 cm über der Schnittfläche sind die drei letzten Ringe gefärbt; 30 cm höher sind nur noch der letzte Ring und das Herbstholz des ersten der beiden Ringe gefärbt, während der Rest verstopft ist.

Während bei Sambucus im unteren Theile fast zwei Ringe gefärbt sind, ist in höherer Region der erste ungefärbt und verstopft. Aehnlich verhalten sich die übrigen nicht erwähnten Hölzer.

Es schreitet also die Verstopfung von oben nach unten und von innen nach aussen fort, was in guter Uebereinstimmung mit den Angaben von Böhm[1]) steht. Demnach stände zu erwarten, dass im Stamme eines Baumes viele Splintringe unverstopft, während in den jüngsten Verzweigungen nur sehr wenige Ringe nicht verstopft sind. Einschlägige Untersuchungen scheinen nicht vorzuliegen. Mir fehlte es leider auch an dem geeigneten Materiale, um diese Frage zu entscheiden; ich konnte nur zwei Stammquerschnitte, von Robinia und Aesculus, prüfen. Die Robinia zählte 27 Jahresringe mit vier Splintringen;[2]) die Gefässe auch des letzten Ringes sind verstopft, was Angaben von Höhnel[3]) für Zweige entspricht.

---

1) l. c.

2) l. c.

3) Temme (Ueber Schutz- und Kernholz, seine Bildung und seine physiologische Bedeutung. — Landw. Jahrb. 14. Bd., 1885, p. 480) scheint die blosse Verstopfung der Gefässe durch Thyllen zu genügen, um diese Ringe als Kernholz anzusprechen, wenn er sagt: „So sehen wir bei unseren Robinien mit mächtigem bis auf den jüngsten Jahresresring entwickeltem Kernholzkörper . . . .“ Hier wird der Begriff Kernholz in einem von dem üblichen abweichenden Sinne angewendet. Ich glaube, dass diese Verwechselung der Begriffe ohne nähere Erläuterung nicht rathsam ist. Die Definition des Begriffes Kernholz hat sich aus der makroskopischen Betrachtungsweise herausgebildet und muss seiner technischen

Der Querschnitt von Aesculus Hippocastanum zählte etwa 32 Jahresringe; es konnten Verstopfungen bereits im vierten Ringe von aussen festgestellt werden. Robinia zeigt, dass die Wasserbewegung auf einen Jahresring (höchstens ausserdem noch auf das Herbstholz des vorhergehenden) auch im Stamme beschränkt ist. Aehnlich dürften sich verhalten Gleditschia, Quercus, Iuglans etc., überhaupt alle diejenigen, bei denen bereits in den Zweigen die Wasserbewegung auf einen kleinen Theil des Splintes beschränkt ist. Es konnte von vornherein erwartet werden, dass für die Gewächse, welche in den Versuchen einen grösseren Theil des Splintholzes als leitend erkennen liessen, Gleiches im Stammholze zutrifft. Es zeigt jedoch Aesculus, dass auch dort nur wenige, im vorliegenden Falle drei Jahresringe des Stammes leiten. Wie es mit anderen echten Splintbäumen, wie Acer und Betula steht, bedarf näherer Untersuchung. Wenn hier auch eine grössere Zahl von Ringen an der Leitung betheiligt sein sollte, so dürfte doch nicht der ganze Splint leitend sein. Auch den Untersuchungen von R. Hartig[1]) über die Vertheilung des Wassers und des Luftraumes lässt sich für unsere Frage nichts entnehmen, wenngleich er mit Betula experimentirt hat. Die mit Kiefer, Fichte, Eiche, Rothbuche, Birke angestellten Versuche lassen entweder keinen Unterschied im Wassergehalt des Kernes und Splintes erkennen oder derselbe ist zu gering, um Schlüsse auf die Wasserleitung zu ziehen. Die Möglichkeit, dass die Wasserbewegung nur in wenigen Splintringen vor sich geht, hat Hartig gar nicht in seine Erwägungen gezogen; ebenso wenig hat er geprüft, ob die Gefässe seines Splintholzes frei von Verstopfungen waren.

Ob nun die Wasserbewegung auf den letzten Jahresring beschränkt ist, oder ob sie in mehreren stattfindet, oder ob sie bei einigen Bäumen wenigstens in dem Stamme in allen Splintringen vor sich geht, jedenfalls muss die Leitung in dem letzten Ringe am ausgiebigsten stattfinden können, denn derselbe steht mit den tran-

---

Bedeutung wegen beibehalten werden. Deshalb halte ich mich an die von Wiesner gegebene Erklärung: „Junges, weissliches oder gelbliches Holz wird bekanntlich Splint genannt". (Rohstoffe des Pflanzenreichs, p. 532.) Die Farbe des Holzes ist ein wesentliches Kriterium.

1) l. c.

spirirenden Flächen und mit den wasseraufnehmenden Wurzeln in directester Verbindung. In longitudinaler Richtung sind die Widerstände am geringsten. Muss das Wasser sich aus den älteren Ringen in den jüngsten begeben, so tauchen hier in transversaler Richtung grössere Widerstände auf, wodurch eine Verlangsamung der Bewegung stattfindet. Je weiter die Jahresringe von der Peripherie entfernt sind, um so mehr wachsen die Widerstände, um so grösser wird die Verzögerung der Bewegung, um so geringer ist der Antheil des betreffenden Jahresringes an der Leitung, bis er gleich Null wird. Selbst wenn Verstopfungen in dem Splinte eines „Splintbaumes" fehlen, so dürfte in Folge der Widerstände, welche der Bewegung in transversaler Richtung begegnen, die Wirkung die gleiche sein, als wenn die Gefässe verstopft wären. Während also im letzten oder in den letzten Jahresringen die Wasserbewegung vor sich geht, so wird der übrige Theil des Splintholzes, und dem schliesst sich der Kern an, gleichsam als Wasserreservoir[1]) dienen. So lange das Wasserbedürfniss der transpirirenden Flächen durch die letzten Jahresringe gedeckt werden kann, wird diese Wassermenge in Ruhe bleiben. Steigt das Wasserbedürfniss aus irgend einem Grunde, und kann dasselbe nicht gedeckt werden auf dem alten Wege, oder vermindert sich etwa die Zufuhr, so wird in Folge der stärkeren Saugung dem Reservoir Wasser entzogen. Hierauf liesse sich die zeitweilige Verminderung des Wassergehaltes im Holze zurückführen. Bleibt bei sinkendem Wasserbedürfniss die Wasserzufuhr die gleiche, oder wächst dieselbe bei unverändertem Wasserbedürfniss, so wird der Ueberschuss wiederum dem Reservoir zugeführt. Auf solche Verhältnisse dürften sich die Veränderungen im Wassergehalte der Bäume während eines Jahres im Allgemeinen zurückführen, im Einzelnen werden sich die Beziehungen nicht so leicht aufdecken lassen.

---

1) Eine ähnliche Ansicht für das Holz hat Volkens (Jahrbücher d. Bot. Gartens zu Berlin) geäussert. Ob dieselbe sich mit meiner deckt, vermag ich jedoch nicht zu sagen, da mir hier die betreffende Arbeit nicht zugänglich war.

Ueber die verminderte Filtrationsfähigkeit abgeschnittener in Wasser gestellter Zweige.

Bisher war die Wahrnehmung, dass (besonders deutlich in den Druckversuchen) die jüngste Partie des letzten Jahresringes, in der man eine intensive Färbung erwarten sollte, ungefärbt ist, vernachlässigt worden. Diese interessante Erscheinung beruht darauf, dass diese Theile in kurzer Zeit verstopft werden. Von den zu den Druckversuchen verwendeten Zweigen konnten mit Sicherheit Verstopfungen nachgewiesen werden bei Acer, Tilia, Aesculus, Robinia, Sambucus, Iuglans, nicht nachgewiesen werden bei Fraxinus, Gleditschia, Quercus. Vorwiegend scheint die Verstopfungsmasse Gummi zu sein in dem Sinne von Temme, wenigstens scheint nach dem äusseren Verhalten dieser Körper seinem im Schutzholz auftretenden Gummi zu entsprechen. Sicher rühren die Verstopfungen von solchem Gummi her bei Acer, Tilia, Aesculus, Robinia, Sambucus. Zweifelhaft blieb die Natur der Gefässausfüllungen bei Iuglans und Sorbus Aucuparia. Auch ist die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass etwa Thyllen den Verschluss bewirken. Dass bei Fraxinus, Gleditschia und Quercus Gefässerfüllungen fehlen sollen, ist nicht wahrscheinlich. Sie mögen sich der Untersuchung entziehen, da sie vielleicht farblos sind und nicht auf die gewöhnlichen Reagentien einwirken, oder da sie an Stellen auftreten, wo sie von der Untersuchung nicht getroffen wurden. Auf Grund des analogen Verhaltens dieser drei Pflanzen muss auch für sie die Ausfüllung der Gefässe gefordert werden. Die Nichtfärbung der jüngsten Partie des letzten Jahresringes lässt sich auch bei den Zweigen aus den Transpirationsversuchen nachweisen. Von ihnen wurden auf Gefässausfüllungen geprüft: Acer, Tilia, Aesculus, Sorbus Aucuparia, Pirus malus, Magnolia, Fagus. Mit Ausnahme der letzten Species waren in allen diesen Pflanzen Verstopfungen zu beobachten. Da die Nichtfärbung zunächst in den Gefässen des Herbstholzes auftritt, so liegt a priori die Vermuthung nahe, dass die Flüssigkeit in den engen Gefässen langsamer aufwärts steigt als in den weiteren Frühlingsgefässen. Dann müssten die gleichen Farbenunterschiede auch in den älteren Ringen auftreten, was nicht der Fall ist. Auch sind bei manchen

Holzarten erhebliche Unterschiede in der Gefässweite des Frühlings- und Herbstholzes nicht vorhanden. Ferner ist die Nichtfärbung nicht auf das Herbstholz des letzten Ringes beschränkt, sondern erstreckt sich auch auf das Frühlingsholz desselben. Bei Aesculus können sogar mehrere Ringe ungefärbt oder schwächer gefärbt sein. Die Vorstellung, die verschiedene Färbung rühre von ungleicher Gefässweite her, ist also unzutreffend und hat vermuthlich auch für die Species, bei denen keine Gefässausfüllungen nachzuweisen waren, keine Gültigkeit.

Wo die Nichtfärbung auftritt, ist aus den ausführlich beschriebenen Versuchen ersichtlich; in transversaler Richtung beginnt sie von der Peripherie aus und schreitet nach dem Centrum zu fort. Diesem Verhalten ist das Auftreten der Gefässausfüllungen analog. Sie treten nie in unmittelbarer Nähe der Schnittfläche auf, sondern ziemlich hoch oben im Zweige. Ihre Entstehung muss sehr schnell und plötzlich vor sich gehen, da sie in den kurze Zeit dauernden Druckversuchen in reicher Menge auftreten. Allerdings darf nicht unberücksichtigt bleiben, dass die Zweige eine Zeit lang durch die Luft getragen werden mussten, da sie aus der Thierarzneischule stammten. Auch kam hierzu für einige Zweige noch ein mehrstündiger Aufenthalt im Laboratorium vor Beginn des Versuches, während dessen sie freilich mit einer frisch hergestellten Schnittfläche in Wasser standen. Diese Zeiträume müssen zu der Versuchsdauer hinzugeschlagen werden, um eine richtige Vorstellung von der Schnelligkeit zu erlangen, mit welcher sich die Gefässausfüllungen bilden. Die Aufführung einiger Beispiele wird geeignet sein, ein ungefähres Maass für die Schnelligkeit der Bildung zu gewähren.

Am Morgen (etwa 10 Uhr) des 21. Aug. 1886 wurden mehrere Zweige von Aesculus Hippocastanum aus dem Garten der Thierarzneischule geholt. Um 10 Uhr 15 Min. wurde der erste Druckversuch angestellt; er dauerte bis 12 Uhr. In dieser Zeit sind in der leitenden Region reichlich Gefässausfüllungen gebildet; ein Theil derselben ist sogar von Fuchsin gefärbt. Um 12 Uhr 50 Min. wurde ein zweiter Versuch angestellt; er dauerte bis 3 Uhr 15 Min. Der leitende Theil weist reichlich Gefässausfüllungen auf. Ein dritter Versuch dauerte von 3 Uhr 30 Min. bis 6 Uhr Abends. In den

drei letzten Jahresringen sind zahlreiche Gefässausfüllungen vorhanden. In einem kürzeren als dreistündigen Zeitraume sind bei Aesculus also die Gefässe durch Gummibildung in grosser Zahl verschlossen.

Aus der Thierarzneischule wurden am 24. Aug. Morgens Zweige von Robinia Pseud' Acacia geholt. Um 11 Uhr gleich nach Empfang derselben ward der erste Versuch mit halbstündiger Dauer angestellt. Von Gummiausfüllungen ist nichts zu bemerken. Der zweite Versuch währte von 12 Uhr 30 Min. bis 1 Uhr. In den nicht gefärbten Theilen des jüngsten Jahresringes sind Gummiausfüllungen und Thyllen vorhanden.

Am 23. Aug. wurden Zweige von Acer platanoides aus der Thierarzneischule zu Versuchen verwendet. Um 11 Uhr 15 Min. wurde der erste Versuch von einstündiger Dauer angesetzt. In dem nicht gefärbten Theil des jüngsten Jahresringes sind einzelne Gefässausfüllungen zu bemerken. Der zweite Versuch dauerte von 3 Uhr 30 Min. bis 6 Uhr. Im ungefärbten Theil des jüngsten Jahresringes sind viele Gefässe mit Gummi erfüllt; auch im gefärbten Theile finden sich bereits Ausfüllungen.

Am 25. Aug. Morgens wurden Zweige von Tilia europaea aus der Thierarzneischule geholt und mit frischen Schnittflächen in Wasser gestellt. Von 3 Uhr 45 Min. bis 6 Uhr und von 6 Uhr 15 Min. bis 7 Uhr 15 Min. waren zwei Versuche im Gange. In beiden Fällen waren in den ungefärbten Gefässen Ausfüllungen vorhanden.

Diese wenigen Beispiele zeigen, dass ein sehr kurzer Zeitraum genügt, um die Gefässausfüllungen hervorzurufen. Den Process selbst stellt man sich vielleicht nicht unrichtig folgendermaassen vor. Sobald der Zweig aus seinem Verbande gelöst ist, wird in dem jüngsten Theil des secundären Holzes auf eine bestimmte Strecke hin die Bildung von gummösen Massen oder von Thyllen beginnen. Ersterer Vorgang dürfte voraussichtlich ebenso verlaufen wie der von Temme[1]) für die Schutzholzbildung beschriebene. Wird ein solcher in der Gummibildung begriffener Zweig mit Fuchsinlösung injicirt, so werden zunächst in der unteren Partie die Markstrahl- und Parenchymzellen getödtet; hier können also keine Gummiausfüllungen resp.

1) l. c.

Thyllen gebildet werden. In den höheren Theilen hingegen kann die Bildung ruhig fortschreiten und vollendet sein, ehe das Fuchsin bis zu ihr vordringt, da es begierig von den Membranen aus der Lösung aufgespeichert wird. Sind die Gefässe jedoch erst einmal verstopft, so ist ein weiteres Steigen der Lösung ausgeschlossen. Deshalb sind diese Ausfüllungen meistens auch nicht durch Fuchsin gefärbt. Geht jedoch der Verschluss der Gefässe etwas langsamer von Statten, oder steigt das Fuchsin in Folge stärkeren Druckes schneller in die Höhe, so treten auch gefärbte Ausfüllungen auf; doch finden sich alsdann in höherer Region immer noch ungefärbte. Dass diese Verstopfungen thatsächlich während des Versuches entstehen, ergiebt sich daraus, dass beliebig abgeschnittene Zweige solche Ausfüllungen nicht aufweisen, und dass in den verstopften Gefässen die Flüssigkeit weit hinauf gestiegen ist, was unmöglich sein dürfte, wenn die Verstopfungen bereits bei Loslösung des Zweiges von der Mutterpflanze existirt hätten.

Ueberraschend ist, dass im Allgemeinen die Erscheinung der Gefässausfüllung deutlicher in den Druck- als in den Transpirationsversuchen hervortritt, dass aus dem jüngsten Holz in den letzteren die Färbung später verschwindet als in den ersteren, obgleich die Druckversuche kürzere Zeit dauern, mithin weniger Gelegenheit zu Neubildungen gegeben sein sollte. Obgleich die Ursache der Gefässausfüllungen unbekannt ist, so dürfte doch vielleicht die Natur der injicirten Lösung auf die Bildung Einfluss haben. Die Druckversuche sind mit Fuchsin, die Transpirationsversuche vorwiegend mit Methylenblau angestellt. Als ich jedoch Zweige von Aesculus in Fuchsinlösung transpiriren liess, so welkten dieselben ausserordentlich schnell.

Dieser Versuch erweckte in mir den Gedanken, ob nicht die verminderte Filtrationsfähigkeit abgeschnittener Zweige und das damit verbundene schnellere Welken derselben auf das Auftreten solcher Gefässausfüllungen zurückzuführen sei. Die bisherigen Erklärungen dieser Erscheinung sind ungenügend, da wesentliche Vorgänge unberücksichtigt bleiben. Sachs wies zuerst auf die verminderte Filtrationsfähigkeit des Holzes hin und suchte die Ursache derselben in Folgendem. Durch die Herstellung einer Schnittfläche an den für die Versuche erforderlichen Zweigen wird eine Reihe von Zellen

verletzt; ihr Inhalt verbreitet sich über die Schnittfläche, wobei Verstopfung der Gefässe unvermeidlich sein soll. Bei längerer Berührung mit Wasser findet auf diesem Boden eine üppige Bacterienentwickelung statt; der so entstehende Bacterienschleim soll sich gleich Pfropfen in die Lumina der Gefässe setzen. Begründet wird diese Vorstellung von Sachs dadurch, dass eine lebhaftere Wasseraufnahme stattfindet, wenn man durch Abtragen einer Lamelle eine frische Schnittfläche hergestellt hat. Höhnel[1]) hat diese Auffassung auf experimentellem Wege bestätigt. Schloss er die Bacterien durch geeignete Versuchsanstellung aus, so konnte er eine Verlangsamung in dem Eintreten der Verminderung der Filtrationsfähigkeit feststellen. Wäre wirklich der Bacterienschleim die ausschliessliche Ursache der Verminderung, so müssten bei seinem Ausschluss auf beliebige Zeiten hin gleiche Mengen Wasser unter constantem Druck in gleichen Zeiträumen durch das Holz hindurchfiltrirt werden. Dies Resultat hat auch Höhnel nicht erzielt, wie die folgenden von ihm mitgetheilten Versuche zeigen.

Ampelopsis hederacea.

1.	2.	3.	4.
673,2 Ccm.	63,0 Ccm.	175,0 Ccm.	223,0 Ccm.
303,2 -	65,3 -	86,3 -	78,8 -
273,2 -	35,1 -	43,3 -	25,6 -
253,2 -	12,8 -	25,2 -	17,5 -
205,5 -	3,8 -	14,9 -	11,2 -
192,7 -	4,0 -	11,3 -	6,7 -
155,0 -	2,9 -	8,4 -	6,9 -
128 -		7,3 -	
115,4 -			
93,0 -			
57,9 -			

1) Bot. Ztg. 1879. Ueber die Ursache der rachen Verminderung der Filtrationsfähigkeit von Zweigen für Wasser, p. 297 ff.

Ostrya virginiana	Acer Negundo
47,2 Ccm.	73,9 Ccm.
30,4 -	25,4 -
10,8 -	8,4 -
4,5 -	4,4 -
3,0 -	3,0 -

Jede Zahl repräsentirt die in 24 Stunden durchfiltrirte Menge Cubikcentimeter Wasser. Von verstopfenden Ursachen konnten nur die durch das Anschneiden der Zellen frei werdenden Plasma- und Schleimmassen in Betracht kommen. Diese müssten aber schon in kurzer Zeit die Verstopfung bewirken, worauf alsdann gleiche Mengen Wasser durchfiltriren müssten. Wenn dennoch ein nicht unerhebliches und zum Theil plötzliches Sinken der durchfiltrirenden Mengen stattfindet, so bleibt aus den bisher bekannten Thatsachen diese Erscheinung unerklärt. Ebenso unmöglich ist es aus den Schleim- und Plasmaverstopfungen und der etwaigen Bildung von Bacterienschleim das auffallend schnelle Welken des Aesculuszweiges in Fuchsinlösung zu erklären. Für diesen Fall lässt sich nachweisen, dass das schnelle Welken durch Auftreten von Gefässausfüllungen hervorgerufen wird. Die Verminderung der Filtrationsfähigkeit wird verständlich, wenn angenommen wird, dass auch in den von Höhnel angeführten Versuchen Neubildungen auftreten, welche die Gefässe allmählich so fest verschliessen, dass durch dieselben kein Wasser passiren kann. Von der Natur der betreffenden Species, wie schnell sie auf den äusseren Eingriff reagirt, von der Ausgiebigkeit der Neubildung und von der Weite der Gefässlumina wird es abhängen, in welchem Maasse sich diese Filtrationsmengen vermindern. Es werden sich also verschiedene Species ungleich verhalten; ebenso werden Individuen derselben Art nicht immer volle Uebereinstimmung zeigen, da die Weite der Gefässe in Folge der Ernährungsverhältnisse Schwankungen unterworfen ist.[1]) Hieraus wird sowohl das abweichende Verhalten von Ampelopsis in den vier Versuchen

1) Wieler, Beiträge zur Kenntniss der Jahresringbildung und des Dickenwachsthums. Pringsh. Jahrb. XVIII.

als auch von Acer Negundo verständlich. Namentlich diese letztere Pflanze zeigt sehr auffällige Verhältnisse. Am 2. Tage ist ein Drittel von dem filtrirt, was am 1. Tage das Holz passirte; die am 3. Tage passirte Menge beträgt wiederum nur ein Drittel von der des zweiten Tages. Die folgenden Tage aber bieten schon gar kein Interesse mehr dar. Aehnlich verhält es sich mit Ostrya und mehreren Versuchen mit Ampelopsis.

Da gar nicht geprüft worden ist, ob in diesen Fällen Verstopfungen der Gefässe auftreten, so ist man nur auf Vermuthungen angewiesen. Wenn sich Acer Negundo wie andere Acerspecies verhält, so sind während der Filtration sicher Verstopfungen eingetreten. Für Ostrya und Ampelopsis ist das Gleiche zu erwarten, wenn der Gefässverschluss für letztere Species auch nicht so schnell und vollständig auftreten sollte wie für andere Arten.

Auf das Auftreten von Verstopfungen dürften auch die Ergebnisse der Versuche zurückzuführen sein, welche Wiesner[1]) anstellte, um zu prüfen, ob bei in Wasser gestellten Zweigen normale Entlaubung stattfindet. Er konnte feststellen, dass die Entlaubung allerdings normal vor sich geht, dass sie aber viel eher eintritt als an den an der Pflanze verbliebenen Controllzweigen. Die folgende Tabelle giebt die von Wiesner mitgetheilten Zahlen wieder.

Abgeschnittene Zweige von	Beginn des Versuches	Abfalltermin der Blätter	Abfalltermin der Blätter an den Versuchszweigen	Zeitraum bis zum Abfall der Blätter	Zeitraum bis zum Abfall der Blätter an den Controllzweigen.	Differenz
Ptelea trifoliata	16. Sept.	3.—5. Oct. (4)	24. Oct.	18 Tage	38 Tage	20 Tage
Viburnum opulus	17. -	24. Sept.	14. -	7 -	27 -	20 -
- lantana	17. -	25. -	20. -	8 -	33 -	25 -
Celtis occidentalis	17. -	4. Oct.	20. -	17 -	33 -	16 -
Staphylea pinnata	17. -	2.—7. Oct. (5)	18. -	18 -	31 -	13 -

Wie aus diesen Zahlenangaben ersichtlich ist, sind die Blätter abgefallen von Ptelea in 18, Viburnum 7—8, Celtis 17, Staphylea

1) Untersuchungen über die herbstliche Entlaubung der Holzgewächse. Sitzber. d. mathem. naturw. Klasse der Akademie der Wissenschaften zu Wien. 1871. LXIV, 1. Abth. p. 491 ff.

18 Tagen, wenn sie sich an abgeschnittenen Zweigen befanden; an den Controllzweigen trat dieser Zeitpunkt 13—25 Tage später ein. Da Wiesner vermuthete, eine rückwärts wirkende Kraft möchte den Abfall der Blätter verzögern, diese möchten mithin an den abgeschnittenen Zweigen eher abfallen, da dort jene Kraft fehlt, so stellte er folgende Versuche an. In Zweige von Maclura aurantiaca, Berberis aquifolium, Buxus sempervirens wurde unter Quecksilberdruck Wasser hineingepresst. Jetzt fielen in der That die Blätter später ab als in den Parallelversuchen ohne Druck, und zwar betrug die Verzögerung einige Tage bis einige Wochen. Wenn Wiesner hieraus den Schluss zieht, dass eine solche vis a tergo am unverletzten Baume vorhanden ist, so dürfte eine derartige Vorstellung heute kaum noch Anklang finden. Die Resultate aber lassen sich meines Erachtens nach ganz zwanglos folgendermaassen erklären. Wenn die Zweige in Wasser gestellt transpiriren, so tritt in der bereits erwähnten Weise allmählich (bald schneller, bald langsamer) ein Verschluss der Gefässe ein. Ist so der Zufuhr neuer Flüssigkeit eine Grenze gesetzt, so wird das in den Gefässen und Geweben vorhandene Wasser von den Blättern verbraucht; nach dem Verbrauch aber müssen sie abfallen oder vertrocknen. Diesen Verlauf weisen die Versuche mit Ptelea, Viburnum, Celtis, Staphylea auf. Wird nun unter Quecksilberdruck Wasser in die Zweige gepresst, so wird erstens vermuthlich der Verschluss der Gefässe verzögert, zweitens müssen aber alle Gefässe reichlich mit Wasser gefüllt werden, so dass der Augenblick der Wassererschöpfung erst später eintritt.

Wenn also die Forderung aufgestellt wird, dass in allen abgeschnittenen Zweigen Gefässausfüllungen auftreten, so muss diese Verallgemeinerung auch auf die Stauden und annuellen Pflanzen ausgedehnt werden. Und in der That konnten Beobachtungen gemacht werden, welche eine solche Verallgemeinerung zu rechtfertigen scheinen. Es ist nichts Seltenes, dass die jüngsten secundären Gefässe ungefärbt sind, wenn die Pflanzen in farbigen Lösungen transpiriren. Dass jene immer verstopft sind, konnte nicht für alle Fälle nachgewiesen werden, dürfte aber anzunehmen sein, da es für Ricinus communis, Dipsacus Fullonum, Fagopyrum esculentum, Leucanthemum maximum zutraf, während das Ausbleiben der Färbung ausserdem beobachtet wurde bei Helianthus annuus, Silphium ter-

natum, Lepidium Draba, Urtica dioica. Aber auch bei annuellen Pflanzen ohne typischen Holzkörper wie bei Medicago sativa sind Verstopfungen der Gefässe vorhanden. Haben Stengel dieser Pflanze einige Zeit in Methylenblaulösung transpirirt, so sind reichlich Gefässausfüllungen vorhanden, während die dem freien Lande entnommenen frei von solchen sind. Wenn bei anderen Annuellen, welche ein schnelles Welken erkennen lassen, falls sie in Lösungen transpiriren, noch keine Gefässausfüllungen nachgewiesen wurden, so stehen solche doch zu erwarten, vorausgesetzt dass nicht bereits bei Herstellung der Schnittfläche durch Oeffnen der Schleimkanäle etc. die Gefässe verstopft worden sind.

Die Erscheinung des Gefässverschlusses ist nun nicht nur auf abgeschnittene Sprosse beschränkt, sondern ist auch eine Begleiterscheinung anderer Vorgänge. Hierher gehört das Temme'sche[1]) Schutzholz, und da die Bildung desselben die gleiche zu sein scheint wie die des Kernholzes, auch das letztere, ferner der Gefässverschluss in den angekohlten Zweigen aus den Experimenten von Weber[2]), das Auftreten von Gummi in den Gefässen verletzter Pflanzentheile.

Es steht zu erwarten, dass die Neubildungen in den Gefässen bedingt sind durch dieselbe Ursache oder durch gleichartige Ursachen. Anhaltepunkte, welches diese Ursache sein möchte, sind nicht vorhanden; es existiren lediglich vage Vermuthungen. Von der Zukunft ist also die Beantwortung dieser Frage zu erwarten. Die Lösung dieses Problemes dürfte zugleich Aufschluss gewähren, weshalb in dem Versuch von Hansen[3]) ein Pappelzweig, dessen unteres Ende durch Eintauchen in heisses Wasser getödtet worden war, mehr Wasser aufzunehmen vermochte als ein normaler Zweig. Die Unterschiede in den aufgenommenen Mengen sind ausserordentlich bedeutend.

	normal	durch heisses Wasser getödtet
1. Versuch in 80 Stunden	184 ccm	648 ccm Wasser
2. - - 72 -	184 -	426 - -

1) l. c.

2) Ueber den Einfluss höherer Temperaturen auf die Fähigkeit des Holzes, den Transpirationsstrom zu leiten. Ber. d. d. bot. Ges. III, p. 345 ff.

3) Arbeiten des Würzburger Bot. Instituts. III, p. 50.

Wenn Hansen meint, dass dieses Verhalten auf die Vermuthung führen könnte, „dass durch die angegebene Procedur die Leitungsfähigkeit des Holzes sogar gesteigert werden kann", so scheint mir diese Folgerung nicht zwingend. Nehmen wir an, dass beim normalen Zweige nur deshalb so wenig Wasser aufgenommen worden ist, weil die Gefässe verstopft sind, so wäre es möglich, dass die für den gekochten Zweig angegebene Menge die normale Menge wäre. Denn es darf nicht vergessen werden, dass wir kein Urtheil darüber haben, wie viel Wasser normaler Weise von einem Zweige aufgenommen wird. Dann bleibt allerdings zu ermitteln, warum in dem gekochten Zweige die Bildung von Verstopfungen ausgeblieben ist. Beim Aufsuchen der Ursachen der Neubildungen wird das Augenmerk besonders darauf zu richten zu sein, ob ihr Auftreten etwa an durch Alter oder Lage bestimmte Organe gebunden ist. Die Janse'sche[1]) Erklärung dieser Versuche kann wohl geringe Unterschiede verständlich machen, nicht aber die grossen Differenzen, wie sie in 80 resp. 72 Stunden in den Versuchen von Hansen zum Vorschein kommen. Es muss auch sehr auffällig erscheinen, dass in siedendes Wasser getauchte Zweige sich so ganz abweichend verhalten von angekohlten Zweigen.[2])

Die Gefässbündel, die Gefässe in denselben und im secundären Holz leiten ungleich.

Die Druck- und Transpirationsversuche mit Zweigen lassen noch zwei Erscheinungen erkennen. Erstlich leiten Frühlings- und Herbstholz gleich gut, zweitens leitet ein Farbstoffring nicht als Einheit, also in allen Theilen gleich gut, sondern im Gegentheil sehr verschieden gut.

Von Sachs[3]) ist die Ansicht vertreten worden, dass das Herbst-

1) Die Mitwirkung der Markstrahlen bei der Wasserbewegung im Holze. Pringsheim's Jahrb. f. wissensch. Bot. XVIII. Bd. 1. Heft, 1887.

2) Ber. d. d. bot. Ges. III, p. 345 ff.

3) Ueber die Porosität des Holzes. Arb. d. bot. Inst. zu Würzburg, Bd. II, p. 296 ff. — Vorlesungen über Pflanzen-Physiologie, 1882, p. 275.

holz wie das Kernholz gleich wenig leitet, dass dasselbe also gleichsam als isolirende Schicht zwischen zwei Frühlingsholzschichten eingeschaltet ist. Meine Versuche bestätigen diese Ansicht nicht; es müssten gefärbte und ungefärbte Ringe mit einander wechseln, was nicht der Fall ist. Die Färbung nimmt im leitenden Holze centripetal ab, aber unbekümmert um Frühlings- und Herbstholz. Bei Sambucus ist das Herbstholz des ersten Ringes gefärbt, während das Frühlingsholz ungefärbt ist; bei den anderen Hölzern verhält es sich ebenso. Aber selbst wenn das Herbstholz weniger weit aufwärts gefärbt wäre, so würde das nichts beweisen, da bei vielen Holzarten die Herbstholzgefässe bedeutend enger sind als die Frühlingsholzgefässe. In Folge grösseren Widerstandes brauchte deshalb in jenen in derselben Zeit die Färbung nicht so weit vorgerückt zu sein wie in diesen. Aber nicht einmal diese Verhältnisse kommen hier in Betracht, woraus ersichtlich ist, dass die nicht unbedeutende Differenz in der Gefässweite keinen Einfluss auf dieselben hat. Auch bei den wenigen in die Untersuchung gezogenen Nadelhölzern (Pinus Strobus, Taxus baccata) konnte ein Unterschied in der Leitungsfähigkeit des Frühlings- und Herbstholzes nicht wahrgenommen werden. Es muss dahingestellt bleiben, wie sich die abweichenden Ergebnisse der Sachs'schen und meiner Versuche erklären.

Während Unterschiede in der Leitungsfähigkeit des Herbst- und Frühlingsholzes nicht festzustellen waren, so lassen sich hingegen in den leitenden Ringen selbst bedeutende Verschiedenheiten wahrnehmen. In den tieferen Theilen der Zweige sind die leitenden Ringe gleichmässig gefärbt, in den älteren Ringen hingegen finden sich bald mehr, bald weniger einzelne gefärbte Gefässe oder Gruppen von diesen. Verfolgt man die in dieser Region vorhandenen Farbstoffringe aufwärts, so bemerkt man bald, dass die Continuität derselben zerrissen wird, und zwar in den Transpirationsversuchen eher als in den Druckversuchen. Sie zerfallen anfänglich in grössere, später in kleinere Abschnitte; dann treten nur Gruppen von gefärbten Gefässen auf, um schliesslich einzelnen gefärbten Gefässen Platz zu machen. Im zweiten Druckversuch mit Acer platanoides sind im ersten Ringe mehrere Gruppen von Gefässen, im zweiten eine gefärbt. Aehnliches gilt vom dritten Versuch. In den drei Versuchen mit Robinia Pseud'Acacia, in dem Versuch mit Quercus und

Fraxinus sind schliesslich nur einzelne Gefässe oder Gruppen von solchen gefärbt. In den beiden Versuchen mit Sambucus und Iuglans, in dem mit Aesculus ist der Farbstoffring in mehrere Abschnitte aufgelöst. Rein physikalisch sind diese Thatsachen nicht zu erklären; aus den verschiedenen Gefässweiten ist es nicht möglich. Dahingegen werden sie verständlich, wenn man verschieden starke Transpiration der transpirirenden Flächen voraussetzt. Wo immer ein secundärer Holzkörper vorhanden ist, muss die ungleiche Leitung zum Ausdruck kommen, also auch bei annuellen Pflanzen. Nun eignen sich diese aber besser dazu, um zu zeigen, dass in den transpirirenden Flächen die Ursache dieser Erscheinung zu suchen ist. Deshalb mögen einige Beispiele eingehend beschrieben werden.

Ricinus communis.[1])

Am 19. Aug. 1886 Nachmittags wurde eine Reihe von Zwergexemplaren, welche in einer Schale gezogen waren, abgeschnitten, in Fuchsin zum Transpiriren gestellt und bis zum 23. Aug. in der Lösung belassen, da diese alsdann verbraucht war. Die mikroskopische Untersuchung ergab Folgendes. Der Stamm ist gefärbt; die Blattstiele zeigen im unteren Theile alle Gefässe gefärbt. Nach oben hin verschwindet aus einem Theil der Bündel die Färbung. Im weiteren Verlauf zeigen die Blattnerven nur einen Theil der Gefässe gefärbt.

Am 20. Aug. 1886 wurden Pflanzen aus dem freien Lande, nachdem sie vor Beginn des Versuches vom Wurzelsystem getrennt worden waren, mit dem Stamm in Fuchsinlösung zum Transpiriren gestellt, wo sie bis zum 28. Aug. verblieben. Verfolgt man die Färbung abwärts auf Querschnitten für ein Exemplar (die anderen verhielten sich analog), so ergab sich Folgendes. In der Endknospe findet sich nur ein gefärbtes Gefäss; in dem darunter befindlichen, also dem jüngsten Blatte, sind alle Gefässe des Blattstieles gefärbt. Das nächst ältere Blatt weist im Stiele keine gefärbte Gefässe auf. Dementsprechend ist in dem unter seiner Ansatzstelle befindlichen Inter-

1) Ich betrachte hier Ricinus als einjährige Pflanze, da sie bei uns diesen Charakter hat, während sie in ihrer Heimath mehrjärig ist.

nodium nur ein Theil der Gefässbündel gefärbt. Die Färbung der gefärbten Gefässe ist nicht gleich intensiv. Das nächst tiefere Internodium zeigt vier grosse und zwei kleine Farbstoffflecken; die ersteren bestehen aus Gefässbündeln, die letzteren aus wenigen Gefässen. Im Vergleich zur Menge der vorhandenen Gefässe ist die Zahl der gefärbten gering. Im nächsttieferen Internodium ist die Zahl der gefärbten Gefässe resp. Gefässbündel noch gering, wenn auch schon grösser; die Intensität der gefärbten Theile ist nicht gleich. Hier beginnt bereits die Bildung secundären Holzes, und so sind denn auch in einzelnen Theilen nur die secundären Gefässe gefärbt. Im nächsttieferen Internodium ist die Zahl der gefärbten Flecke eine grössere. Bald sind einzelne primäre oder secundäre Gefässe, bald Gefässbündel, bald Gruppen von solchen gefärbt. Im nächsttieferen Internodium wächst die Zahl der gefärbten Flecke wiederum, doch tritt der Antheil der primären Gefässe gegenüber dem der secundären mehr und mehr in den Hintergrund. Die allerjüngsten Gefässe sind sehr klein und scheinen durchaus ungefärbt zu sein. Im nächsttieferen Internodium ist der Holzring allseitig gefärbt, doch enthält er, wenn man von den allerjüngsten kleinen secundären Gefässen absieht, eine ganz Zahl ungefärbter Gefässe. Noch verbreiteter ist die Färbung im nächsttieferen Internodium, wenngleich auch hier kein Mangel an ungefärbten Gefässen ist.

Ist an Zwerg- oder anderen Exemplaren von Ricinus ein Theil der Blätter entfernt, und sind die Wunden verstopft, so dass keine Transpiration stattfinden kann, so treten im Holzkörper zwischen den gefärbten Gefässen ungefärbte auf, woraus die ungleichmässige Leitung desselben hervorgeht.

Helianthus annuus.

Verzwergte Exemplare wurden abgeschnitten und mit den Stengeln in die Fuchsinlösung gestellt, um zu transpiriren. Am 23. Aug. 1886 wurden die Pflanzen untersucht. Im untersten Internodium sind alle Gefässe gefärbt. Weiter aufwärts vermindert sich allmählich die Färbung, so dass in den obersten Internodien nur ein oder einzelne Gefässbündel gefärbt sind. In einzelnen Gefässbündeln ist auch nur ein Theil der Gefässe gefärbt.

Analoge Resultate wurden erhalten mit Stengeln von Urtica dioica, Lepidium Draba, Dipsacus Fullonum, Silphium ternatum, Medicago sativa, Aristolochia Clematitis, Phaseolus multiflorus u. a. m. Wo ein geschlossener Holzkörper vorhanden ist, ist bei Ricinus und Helianthus gleiches Verhalten zu beobachten. Bei den Pflanzen mit unverschmolzenen Gefässbündeln ist die Färbung derselben entweder ungleich intensiv, oder sie verschwindet allmählich beim Aufwärtssteigen, so dass häufig nur ein einziges gefärbtes Gefässbündel übrig bleibt.

Da zwischen dicotyledonen Pflanzen mit unverschmolzenen Gefässbündeln und monocotyledonen kein principieller Unterschied ist, so wurden auch Transpirationsversuche mit Zea Mays angestellt. Weder in den Blattscheiden noch Blattspreiten sind die Gefässbündel gleichmässig gefärbt, trotzdem sie durch Queranastomosen verbunden sind.

Gegen die Ansicht, dass die Gefässbündel ungleich gut leiten, dass die Theile eines Bündels nicht gleich leiten, und dass das secundäre Holz nicht als eine einheitliche leitende Masse aufzufassen ist, liesse sich vielleicht einwenden, dass die Versuche nicht beweisend seien, da bei der Herstellung der Schnittfläche einzelne Verstopfungen stattgefunden haben könnten, wodurch die scheinbar ungleiche Leitung bedingt würde. Wenn dieser Einwand auch nicht gerade viel Wahrscheinlichkeit für sich hatte, so musste es mir doch erwünscht sein, denselben gänzlich zu beseitigen. Dies ist aber der Fall, wenn sich nachweisen lässt, dass auch in der unverletzten Pflanze die Ungleichheit der Leitung vorhanden ist. Es ist mir nun gelungen mit Anwendung von Farbstoffen diesen Nachweis zu führen.

Aufnahme von Methylenblau und Fuchsin durch die Wurzeln lebender Pflanzen.

Es galt bisher als Dogma, dass Farbstoffe den unverletzten Plasmaschlauch nicht passiren können. Pfeffer[1]) verdanken wir

1) Kritische Besprechung von de Vries: Plasmolytische Studien über die

den Nachweis von der Unrichtigkeit dieses Dogmas. Manche Anilinfarbstoffe passiren in ausgezeichneter Weise das Plasma, wenn man sie nur in genügender Verdünnung anwendet, so dass ihre giftige Eigenschaft nicht mehr zur Geltung kommen kann. In starker Verdünnung ist der Farbstoff unter dem Mikroskop nicht wahrnehmbar; er würde sich deshalb in den Zellen der Beobachtung entziehen, wenn nicht manche die Fähigkeit besässen, Anilinfarbstoffe aufzuspeichern. Wo also in einem Gewebe vereinzelte Zellen mit aufgespeichertem Farbstoff vorkommen, da ist der Schluss berechtigt, dass derselbe auch die anderen Zellen zu passiren vermag und passirt. Pfeffer hat vorwiegend mit Wasserpflanzen Hydrocharis, Trianea, namentlich mit Algen experimentirt; doch konnte er auch den Nachweis erbringen, dass phanerogame Landpflanzen im Wesentlichen übereinstimmendes Verhalten mit jenen Wasserpflanzen aufweisen.

Auf Grund dieser Ergebnisse durfte erwartet werden, dass jede Zelle, mithin jedes Gewebe, also schliesslich jede Pflanze im Stande ist, gewisse Anilinfarbstoffe aufzunehmen. Sind die Bedingungen für eine Anhäufung derselben gegeben, so muss diese Aufnahme auch dem Beobachter sichtbar werden. Fuchsin und Methylenblau vermögen nach Pfeffer das Plasma zu passiren; beide werden aber auch begierig von verholzten Membranen aufgespeichert. Lässt man nun Pflanzen in Methylenblau- und Fuchsinlösungen wachsen, so kann man aus der Färbung der verholzten Membranen in den Gefässbündeln beweisen, dass die Zellen der Wurzeln für diese Farbstoffe permeabel sind.

Meine Voraussetzung ist in glänzender Weise gerechtfertigt worden. Mit Leichtigkeit wird namentlich das Methylenblau aufgenommen; von den folgenden Pflanzen hat jede dasselbe aufgenommen:

Zea Mays,
Phaseolus multiflorus,
Vicia Faba,
Ricinus communis,
Helianthus annuus,
Impatiens Balsamina.

Wand der Vacuolen. Nebst vorläufigen Mittheilungen über Stoffaufnahme. Bot. Ztg. 1886, p. 114 ff. — Ausführliche Angaben in: Ueber Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen. Unters. a. d. Bot. Institut zu Tübingen. II, 2, 1886.

Es steht zu erwarten, dass alle Pflanzen das gleiche Verhalten zeigen. Weniger günstig liegen die Verhältnisse für Fuchsin. Von den 6 Pflanzen wurde es nur aufgenommen von

Ricinus communis,

Helianthus annuus.

In meinen Versuchen verhalten sich also Methylenblau und Fuchsin verschieden, während nach Pfeffer's Angaben ein gleiches Verhalten zu erwarten stände. Möglicherweise lagen mir andere Verbindungen vor als Pfeffer; um die chemische Natur der Verbindung habe ich mich nicht gekümmert. Dieselben waren von Henn und Kittler in Strassburg bezogen worden. Das Methylenblau war als arsenfreies aufgeführt. Ich benutzte die Farbstoffe in der Verdünnung von 1 : 100000 (beim Fuchsin mag die Verdünnung manches Mal noch grösser gewesen sein). Eine Prüfung, bis zu welcher Concentration das Methylenblau von den Wurzeln vertragen wird, lag mir fern mit Rücksicht auf meinen Zweck und unterblieb deshalb.

Die Färbung tritt auf in den jüngsten Wurzeln, schreitet von hier in die älteren fort und steigt dann allmählich im Stamm aufwärts; natürlich geht dies Fortschreiten der Färbung absolut langsam, relativ schnell beim Methylenblau von Statten. Bei Zea Mays, Helianthus und Vicia ist die Färbung der Gefässbündel bereits äusserlich sichtbar, am deutlichsten beim Mais, wo die Blätter in Folge derselben eine andere Farbennüance annehmen. Ich habe es unterlassen, Bestimmungen anzustellen, wie schnell die Färbung vordringt, da daraus für die Schnelligkeit der Wasserbewegung doch keine Schlüsse zu ziehen sind. Dass die Färbung beim Mais in ausgezeichneter Weise bereits äusserlich wahrnehmbar ist, lässt sich dazu verwenden, um als Vorlesungsversuch zu demonstriren, dass Farbstoffe das Plasma lebender Zellen zu passiren vermögen. Denn diese Versuche bestätigen ja in schlagender Weise die Pfeffer'schen Angaben.

Zu den Versuchen wurden vorwiegend Wasserculturen, einzelne Exemplare aus Sägespänen oder Erde benutzt. Die Pflanzen wurden entweder in eine Farbstofflösung von angegebener Concentration oder in eine Nährlösung gestellt, welcher der Farbstoff in der Menge zugesetzt worden war, dass dieselbe die angegebene Concentration er-

hielt. Da die Pflanzen sich in diesen Lösungen normal weiter entwickelten (manche der Versuche erstreckten sich auf Wochen); so war damit schon die Annahme pathologischer Verhältnisse, die ein Eindringen der Farbstoffe ermöglichten, ausgeschlossen. Ein weiterer Beleg für gesunde Verhältnisse war die Wanderung des Farbstoffes in den Gefässbündeln der Maisblätter. Die Wurzeln waren turgescent und sahen normal aus. Schnitt man die Stengel ab, so beobachtete man lebhaftes, häufig Tage lang anhaltendes Bluten, was nur möglich ist bei gesunder Beschaffenheit der Wurzeln. Bei der mikroskopischen Untersuchung war der Centralcylinder derselben gefärbt, während die unverholzten parenchymatischen Zellen ungefärbt waren und durch die Abwesenheit jeglicher Zellkernfärbung ihre normale Beschaffenheit verriethen. Damit ist ein Zweifel an den normalen Verhältnissen der Zellen beseitigt.

Wie bereits erwähnt, verhalten sich Methylenblau und Fuchsin verschieden. Letzteres wurde nur von Ricinus und Helianthus aufgenommen. Diese Aufnahme geschah jedoch keineswegs mit der gleichen Leichtigkeit wie beim Methylenblau; so stieg die Fuchsinfärbung niemals in den Stamm hinein, blieb also durchaus auf das Wurzelsystem beschränkt, von den feineren Verzweigungen nach der Hauptwurzel zu an Intensität abnehmend.

Halten wir uns der Einfachheit wegen an die Versuche mit Methylenblaulösung, so schreitet die Färbung in der Weise fort, dass zunächst die Gefässe gefärbt werden, dann die angrenzenden Elementarorgane des Holzes, zuletzt die Elemente des Hartbastes. Während in den höchsten Stammtheilen vielleicht nur die Gefässe gefärbt sind, ist in der Wurzel und häufig auch schon im Stengel alles verholzte Gewebe gefärbt. Am besten lassen sich diese Verhältnisse an den einzeln verlaufenden Gefässbündeln des Mais verfolgen. Hier lässt sich äusserlich wahrnehmen, dass das Fortrücken der Färbung nicht in allen Gefässbündeln gleich schnell vor sich geht, dass mithin die einzelnen Blattpartien in der Zeiteinheit ungleiche Mengen Wasser aufsaugen. Die mikroskopische Beobachtung lässt auch an den anderen Pflanzen eine ungleiche Leitung der Gefässbündel erkennen. Es wird die Anführung einiger mit Methylenblau angestellten Versuche den Werth des ganzen Verfahrens erkennen lassen.

Zea Mays.

Ein Exemplar, das längere Zeit in Methylenblaulösung gestanden hatte, wurde am 15. Juli 16 cm oberhalb des Korkes, in dem die Pflanze befestigt war, durchschnitten. Hier sind alle Gefässbündel des Stammes und der Blattscheiden intensiv gefärbt; die Siebtheile sind gar nicht oder nur schwach gefärbt. Verfolgt man die Gefässbündel genügend weit aufwärts in der Blattlamina, so beobachtet man, dass ein Theil der Bündel ungefärbt ist, ohne dass die Gefässweite dementsprechend geringer wäre. Je näher der Spitze des Blattes, um so mehr nimmt die Färbung an Intensität ab. Zunächst spricht sich dies darin aus, dass die Wände des Phloëms ungefärbt, während die verholzten Wände noch alle gefärbt sind. In einem weiteren Stadium ist die Färbung auf die grossen Gefässe beschränkt und verbreitet sich in denselben nicht einmal gleichmässig. Der centripetale und der äussere seitliche Theil der Gefässwand scheint intensiver gefärbt zu sein. In tieferen Regionen hingegen erscheint die ganze Gefässwand gleichmässig gefärbt.

In einem anderen Beispiel wurde die Pflanze unmittelbar über dem Korken abgeschnitten. Sämmtliche Gefässbündel sind gefärbt, sogar die Siebtheile derselben. Nur in diesen sind Unterschiede in der Intensität zu beobachten. Verfolgt man auf Querschnitten die Gefässbündel aufwärts in den Blättern, so erscheint ein Theil der Bündel ungefärbt. In den gefärbten Bündeln im oberen Theile des Blattes ist zunächst der Siebtheil ungefärbt, dann erscheinen die Sklerenchymbelege schwächer und schliesslich gar nicht gefärbt. Alsdann verschwindet die Färbung auch aus dem eigentlichen Holztheil und hält sich nur in den Gefässen am längsten.

In analoger Weise wie diese beiden verhielten sich die übrigen Exemplare von Mais.

Vicia Faba.

Nachdem Sägespänen entnommene Pflanzen einige Zeit in Wasser gestanden hatten, wurden sie für einige Tage in Methylenblaulösung gestellt. Nach der mikroskopischen Untersuchung waren

6 cm über der Ursprungsstelle des Stengels alle Gefässbündel deutlich gefärbt; 5 cm höher war die Färbung nur in einem kleinen Theil der Gefässbündel vorhanden; abermals 5 cm höher war sie auf ein Bündel beschränkt.

Wie dies Exemplar verhielten sich auch die übrigen zur Untersuchung benutzten.

Aehnliches Verhalten wiesen die übrigen untersuchten Pflanzen: Phaseolus, Ricinus, Helianthus, Impatiens auf.

Auf Grund der Färbungsversuche lebender Pflanzen lässt sich mit voller Sicherheit behaupten, dass die ungleichmässige Färbung des leitenden Theiles des secundären Holzes in den Druck- und Transpirationsversuchen, sowie der Gefässbündel von Pflanzen ohne soliden Holzkörper nicht auf durch Anschneiden hervorgerufene Verstopfung einzelner Gefässe zurückzuführen ist, sondern nur aus einer ungleichmässigen Saugung transpirirender Flächen erklärt werden kann.

Ueber die Bedeutung des Gefässbündelverlaufes und der Anastomosen für die Wasserversorgung.

Dass verschiedene Blätter ungleich transpiriren, ist nicht neu und kann nicht überraschen, doch dürfte überraschen, dass die Wirkung davon sich in einer ungleichen Leitung der Gefässbündel spüren lässt. Es war wohl die allgemeine Ansicht, und dieser Gedanke ist von Haberlandt[1]) scharf formulirt worden, dass die Differenzen der Transpiration der Blätter in der Leitung nicht zum Ausdruck kommen sollen, da der Gefässbündelverlauf oder die Art und Weise, wie sich die Bündel der Blätter mit einander verbinden, jeglichen Unterschied ausgleicht. Diese Vorstellung ist eine irrige, wie aus den Versuchen mit abgeschnittenen Sprossen und den gefärbten Wasserculturen hervorgeht. In der ungleichen Färbung der Gefässbündel spricht sich die verschiedene Transpiration der Blätter aus, in der ungleichen Färbung in ein und demselben Bündel, so-

1) Physiologische Pflanzenanatomie, p. 251.

wie in der ungleichen Färbung benachbarter secundärer Gefässe kommt die verschiedene Transpiration einzelner Theile von ein und demselben Blatt zum Vorschein. Es wird erforderlich sein, die Ansicht, dass ein Blatt nicht in allen Theilen gleich transpirirt, auf experimentellem Wege zu bestätigen. Lässt man Blätter entweder an gefärbten Wasserculturen oder abgeschnitten und in Farbstofflösung gestellt transpiriren, so muss sich aus dem Verlauf der Färbung erkennen lassen, ob die einzelnen Blatttheile gleich viel transpiriren. Je weiter in einem Nerven die Färbung vorgeschritten ist, um so mehr Farbstofflösung muss durch ihn hindurch passirt sein. Es ist hier zunächst ganz gleichgültig, von welchen Ursachen diese verschiedene Transpiration herrührt. Wie gross die transpirirende Oberfläche ist, welche von einem Gefässbündel mit seinen Verzweigungen versorgt wird, entzieht sich vollständig der Beurtheilung; die Blattoberfläche bietet keinen Maassstab dar. Es wäre nun sehr wohl möglich, dass bei gleicher Summe der Gefässquerschnitte die transpirirende Fläche von verschiedener Grösse ist. Ungleiche Beschaffenheit der Epidermis und ihrer Gebilde, sowie ungleiche äussere physikalische Transpirationsbedingungen namentlich bei grossen Blättern bedingen natürlich gleichfalls ungleiche Wassermengen für verschiedene Blatttheile.

Lässt man durch die Stiele der Blätter wiederum Methylenblau aufsteigen und verfolgt äusserlich die Verbreitung desselben in der Lamina, so bemerkt man, dass sich zunächst die grossen Nerven färben; von diesen aus verbreitet sich die Färbung durch alle Ordnungen der Verzweigung des Nervensystems bis in die feinsten Ausläufer hinein; schliesslich ist das gesammte Adernetz gefärbt, da das Methylenblau auf die Zellen nicht schädlich wirkt. So wie nun ein Blatt nicht gleichmässig transpirirt, findet diese regelmässige Vertheilung des Farbstoffes nicht statt, wenngleich die Lösung auch jetzt den gleichen Weg einschlägt. Um eine Vorstellung von der Unregelmässigkeit der Transpiration zu erwecken, wird es nicht ungeeignet sein, eine Reihe von Beispielen eingehend darzustellen. Wo nichts Besonderes erwähnt ist, ward Methylenblau zu den Versuchen benutzt.

Ricinus communis.

Die Verbreitung des Farbstoffes ist bereits makroskopisch sichtbar. Da das Blatt lappig ist, so bieten die einzelnen Abschnitte gute Gelegenheit, um zu beurtheilen, ob alle Theile gleichmässig transpiriren. Ist dies der Fall, so muss von der Ansatzstelle des Stieles aus die Färbung gleich weit in allen Abschnitten vorgerückt sein. In einigen der untersuchten Blätter traf es zu, in anderen nicht; hier hatte sich die Färbung in einzelnen Abschnitten schneller verbreitet, so dass bereits die Nervenverzweigungen höherer Ordnung, während in den anderen Abschnitten nur die Hauptnerven gefärbt waren. Diese Unterschiede sind sehr auffällig.

Helianthus tuberosus.

Die Unterschiede in der Färbung sind auf der nicht eingeschnittenen Blattfläche bereits makroskopisch sichtbar. Von einem medianen starken Nerven strahlen die Nerven nächst höherer Ordnung fiederartig aus. Unter den gefärbten Blättern war ein Fall besonders auffällig. Während an der Spitze des medianen Nerven alles bis in die letzten Verzweigungen hinein gefärbt war, war von den die mittlere Partie des Nerven umgebenden Auszweigungen fast gar nichts gefärbt, während in der unteren Partie die Färbung jedenfalls viel schwächer auftrat als an der Spitze.

Lappa major.

Da die Verbreitung des Farbstoffes äusserlich nicht sichtbar ist, so ist eine mikroskopische Prüfung der Färbungsverhältnisse der Gefässbündel erforderlich.

Durchschneidet man den Stiel unmittelbar unterhalb der Ansatzstelle der Lamina, so ist bemerkbar, dass ein Theil der Gefässbündel gar nicht gefärbt ist. Die gefärbten Bündel bieten alle möglichen Abstufungen in der Intensität dar; in einzelnen ist sogar nur ein Theil der Gefässe gefärbt. Eine bestimmte Anordnung der gefärbten Bündel lässt sich nicht wahrnehmen. In tieferen Regionen

des Blattstieles sind alle Gefässbündel, wenn auch in verschiedenem Grade gefärbt. Verfolgt man den Gefässbündelverlauf weiter in der Lamina, so lässt sich feststellen, dass in allen Nerven einzelne gefärbte Bündel vorhanden sind, dass in diesen die Färbung von verschiedener Intensität, und dass sie in eizelnen nur auf einen Theil der Gefässe beschränkt ist. Das Auftreten von ungefärbten und gefärbten Gefässbündeln verschiedener Nüance zeigt deutlich, dass eine ungleichmässige Transpiration wirksam ist.

Zu denselben Ergebnissen wie die Versuche mit abgeschnittenen Blättern führen auch Versuche mit beblätterten Zweigen.

Aristolochia Sipho.

Die von einem starken Mittelnerven durchzogenen Blätter lassen die Farbstoffvertheilung makroskopisch erkennen. Stellt man einen beblätterten Zweig in die Lösung zum Transpiriren, so verhalten sich die Blätter sehr verschieden. Manche transpiriren ganz gleichmässig; häufiger scheint jedoch die ungleichmässige Transpiration zu sein. Die Ungleichmässigkeit derselben kann hier soweit gehen, dass die eine Hälfte eines Blattes eine weite Verbreitung der Färbung selbst in Verzweigungen höherer Ordnung der Nerven aufweist, während die andere Hälfte noch vollständig ungefärbt it. Diesen makroskopisch sichtbaren Verhältnissen entspricht natürlich die Verbreitung der Färbung in den Blattstielen und in den Zweigen. Wenn die eine Hälfte eines Blattes ungefärbt ist, pflegen es wenigstens im oberen Theile des Blattstieles auch die Gefässbündel zu sein, während sie im unteren Theile wenn auch schwächer als die übrigen gefärbt sind. Diese Färbungsdifferenzen pflanzen sich in abgeschwächtem Maasse in den Zweig fort.

Ein Blatt bietet ein ausserordentlich auffallendes Beispiel für die Ungleichartigkeit der Transpiration. Liess die gröbere Vertheilung des Farbstoffes bereits dieselbe erkennen, so wurde sie doch besonders auffallend an zwei kleinen Stellen in den allerfeinsten Verzweigungen. An diesen beiden Stellen ist der Farbstoff bis in die letzten Ausläufer der Bündel verbreitet, hier ein zartes und schön gefärbtes Netzwerk bildend; die unmittelbar angrenzende Gewebepartie lässt nur eine unbedeutende Verbreitung des Farbstoffes er-

kennen. Fig. 2, Taf. II giebt eine Vorstellung dieser auffälligen Verhältnisse. Mit blossem Auge sind auf dem Blatte die feinen Verzweigungen der Nerven nicht deutlich zu sehen. Wo sie jedoch durch Methylenblau gefärbt sind, tritt das ganze Netz der feinen Nerven scharf hervor. Eine solche Stelle ist auf der Abbildung dargestellt. Die blaue Farbe soll die Färbung der Adern und Nerven durch Methylenblau andeuten.

Aristolochia Clematitis.

Die Blätter dieser Species sind bedeutend kleiner und relativ dicker als die von A. Sipho, dennoch kann man schon äusserlich die Färbung in den Nerven erkennen. Hier gebraucht der Farbstoff viel längere Zeit als bei A. Sipho, um in die Blätter zu gelangen, was wohl auf die verschiedenartige Beschaffenheit der Oberfläche der Blätter zu schieben ist. Auch hier sind an ein und demselben Stengel Blätter vorhanden, die gleichmässig, und solche, die ungleichmässig transpiriren. Bei den letzteren ist bald die eine Hälfte gefärbt, die andere ungefärbt; bald sind die drei mittleren Nerven stärker gefärbt, als die seitlichen, bald ein oder mehrere seitliche Nerven stärker gefärbt als sogar der mittlere. Die ungleichmässige Transpiration scheint im Allgemeinen verbreiteter zu sein als die gleichmässige. Bis zur Färbung der feineren Verzweigungen ist es in diesen Versuchen nur ausnahmsweise gekommen.

Crataegus Oxyacantha.

Ein beblätterter Zweig transpirirte in Fuchsinlösung. So weit der Farbstoff in die Blätter hineingestiegen war, liess er bereits äusserlich an seiner Verbreitung in den Nerven erkennen, dass auch diese Blätter ungleichmässig transpiriren.

Zea Mays.

Hierher müssen auch die Versuche mit gefärbten Wasserculturen gezählt werden. Die verschiedene Transpiration lässt sich mit Leichtigkeit schon äusserlich erkennen, wie aus dem früher Mitgetheilten bekannt ist.

Diese Versuche zeigen, dass die Blätter ungleichmässig transpiriren können und zum Theil transpiriren. Aus den Versuchen geht hervor, dass die Ungleichheiten in der Leitung weder durch die Anastomosen, noch durch die Art und Weise des Gefässbündelverlaufes ausgeglichen werden. Man hat in vielen Fällen mit ausserordentlicher Genauigkeit und Sorgfalt den Gefässbündelverlauf in den Blättern und den Verlauf der Blattspuren in den Axen verfolgt, und doch ist aus den betreffenden Angaben nicht zu ersehen, ob thatsächlich Verschmelzungen von Gefässbündeln stattfinden. Es ist überall verzeichnet, in wie viele Stränge sich ein einzelner Strang spaltet, wie sich die Blattspuren der verschiedenen Blätter mit einander verschränken und vereinigen; aber nirgends scheint mit Sicherheit der Nachweis geführt zu sein, dass es sich in solchen Fällen um eine wirkliche Verschmelzung handelt. Sehr wohl können sich mehrere Gefässbündel zu einem einzigen vereinigen, ohne dass eine Verschmelzung stattfindet, d. h. dass die Elementarorgane der einzelnen Bündel mit einander in enge Verbindung treten. Es kann die Vereinigung von mehreren Bündeln sogar nur eine vorübergehende sein, indem dieselben später wieder aus einander treten; und in gewissen Fällen kommt dies sicher vor. Deshalb ist der Gefässbündelverlauf für die Kenntniss der Wasserversorgung transpirirender Flächen nur dann von Werth, wenn auch die anatomischen Verhältnisse an den Verschmelzungsstellen mehrerer Bündel bekannt sind. Wie wenig aber das Zusammentreten von Getässbündeln zu einem einzigen Bündel für eine wirkliche Vereinigung bedeutet, zeigt das angeführte Blatt von Lappa. In demselben Bündel finden sich gefärbte und ungefärbte Gefässe; handelte es sich hier um organische Verbindungen, so wäre eine solche Erscheinung unmöglich. Verfolgt man den Nervenverlauf im Blatte vom Ansatzpunkt des Stieles an, so bemerkt man, dass immer nur ein Theil der Gefässbündel gefärbt ist. Träfe hier wirklich zu, was wohl allgemein angenommen wird, dass bei der Verschmelzung der feineren Nerven zu den stärkeren ein Aufgehen der jüngeren Bündel im stärkeren Nerven stattfindet, so müsste bei dem Lappablatt in dem dem Stiele zunächst liegenden Theile der Lamina oder in dem Stiele selbst alles, was an Gefässtheilen vorhanden ist, und zwar gleichmässig gefärbt

werden. Dass dies nicht der Fall ist, zeigt eben, dass es sich hier nicht um organische Verschmelzungen der Bündel handelt.

Ebenso verhält es sich mit dem Gefässbündelverlauf in den Axen. Derselbe soll bewirken, dass die Ungleichheiten in der Transpiration verschiedener Blätter in Folge ungleicher äusserer Bedingungen sogleich ausgeglichen werden, da alle Gefässbündel in bestimmter und passender Weise mit einander verbunden sind. Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass die Verallgemeinerung dieser Vorstellungsweise unzulässig ist, falls nicht detaillirtere anatomische Angaben vorlägen. An Aristolochia Clematitis soll gezeigt werden, dass der geforderte permanente Ausgleich der Wasserversorgung in Folge des Gefässbündelverlaufes nicht statthat, so lange es sich um normale Verhältnisse handelt. Nach de Bary [1]) ist der Gefässbündelverlauf bei dieser Pflanze der folgende: „Bei Aristolochia Clematitis treten 3 Stränge aus dem Blatt in den Stengel. Der Medianstrang theilt sich sofort in zwei, welche durch das erste Internodium neben einander herziehen, um im nächsten Knoten wieder mit einander zu verschmelzen und vereintläufig durch das folgende Internodium zu gehen. Die beiden seitlichen verlaufen ungetheilt durch zwei Stengelglieder; an der Ausbiegungsstelle in die Blattbasis sind sie mit den beiden Schenkeln des Medianstrangs durch eine Anastomose verbunden. Rechts und links neben den beiden Schenkeln des medianen liegt ein Strang, welcher an dem nämlichen Knoten austritt und die axillare Inflorescenz versorgt. Die ganze Spur der seitlichen Gebilde eines Knotens besteht demnach im eigenen Internodium aus 6, im erstunteren aus 5 Strängen.

Der Medianstrang der Spur biegt, über den 4 Blattspursträngen des 2. Knotens angelangt, zur Seite und vereinigt sich mit dem seitlichen der nächstunteren Spur. Das Ausbiegen der Medianstränge einer Blattzeile findet gewöhnlich alternirend nach beiden Seiten statt, z. B. von den Spuren 1, 5, 9 rechts, von 3, 7, 11 links. An der Ausbiegungsstelle bildet sich später ein zweiter Schenkel, welcher sich an den anderen lateralen Strang anlegt.

Die seitlichen Blattspurstränge gehen durch ihr Internodium eigenläufig, dann verschränken sie sich mit den gleichnamigen des

---

1) Vergl. Anatomie p. 249.

nächstunteren Knotens, ziehen durch das folgende Internodium mit dem Medianstrang des nächstoberen Blattes vereintläufig und setzen sich im 2. Knoten je an einen Axillarstrang der nächstunteren Spur an. Die beiden Axillarstränge sind im eigenen Internodium eigenläufig, im folgenden mit den lateralen Blattsträngen der nächstoberen Spur vereintläufig und setzen sich im 2. Knoten an die lateralen Blattstränge der nächstunteren Spur an. Diese Verhältnisse sind sehr regelmässig, es zeigt daher der Querschnitt durch ein Internodium constant 11 Stränge." Man dürfte nun erwarten, dass bei diesem Verlaufe, wenn man von den untersten Internodien absieht, wo keine normalen Verhältnisse in Folge des Anschneidens herrschen können, die Färbung des Holztheiles in allen Internodien für die einzelnen Theile gleich intensiv ist. Dieser Voraussetzung entsprechen die thatsächlichen Verhältnisse nicht.

Schon äusserlich liess das Exemplar an der Färbung erkennen, dass im oberen Theile des 2. Internodiums über die Hälfte intensiv blau gefärbt ist. Durch mehrere Internodien hindurch liess sich dieser blaue Streifen aufwärts verfolgen. Die mikroskopische Prüfung ergiebt, dass dem äusserlich nicht gefärbten Streifen eine geringere Färbung der betreffenden Bündel entspricht. Im 3. Internodium tritt im Wesentlichen dieselbe Erscheinung auf; von den hier vorhandenen 14 Bündeln sind 9 intensiv, 5 schwach gefärbt. Im 4. Internodium sind 12 Bündel vorhanden; 6 derselben sind intensiv, die anderen schwächer gefärbt; doch sind auch noch in jeder der beiden Gruppen Farbstoffdifferenzen vorhanden, so dass jede derselben sich nach der Intensität wieder in zwei Untergruppen theilen lässt. Im 5. Internodium ist die Färbung sehr unregelmässig; im 6. Internodium ist diese Unregelmässigkeit geringer. Im 7. Internodium hingegen ist die Färbung wiederum sehr unregelmässig vertheilt. Intensiv gefärbte, ungefärbte Bündel, sowie alle Abstufungen zwischen beiden sind hier vorhanden. Weiter aufwärts wurde die Färbung nicht verfolgt, da sie sich nur auf einzelne Bündel beschränkt und dann bald aufhört. Oberhalb dieser Stelle befand sich jedoch noch eine grosse Zahl von Blättern. — Alle untersuchten Exemplare liessen im Wesentlichen die gleichen Erscheinungen erkennen. Bald trat die Ungleichmässigkeit der Färbung deutlicher, bald weniger deutlich hervor. Es zeigen also diese Versuche, dass

die Vereinigung der Gefässbündel unter einander nicht im Stande ist, die Ungleichheiten in der Transpiration der Blätter auszugleichen. Demnach verschaffen sich diese ihre Wassermengen durch ihre eigenen Spuren, welche auch die directeste Verbindung zu den Wurzeln vorstellt, womit eine beschränkte Versorgung durch die übrigen Bündel nicht ausgeschlossen ist. Die Gefässbündelverbindung erhält unter anomalen Verhältnissen, wenn die directen Leitungswege theilweise unterbrochen sind, grössere Bedeutung. Aus geeignet angestellten Versuchen kann man sich überzeugen, dass dann eine Versorgung durch die übrigen Bündel stattfindet. Es muss jedoch dahingestellt bleiben, ob diese Versorgung ausgiebig genug ist, was eine Untersuchung werth wäre.

Physiologisch dieselbe Bedeutung wie die Verbindung der Gefässbündel unter einander haben die Anastomosen, deren Bedeutung sich am besten in den Blättern verfolgen lässt. Ihre Aufgabe soll die gleichmässige Wasserversorgung des Assimilationsgewebes sein.[1]) Für normale Verhältnisse ist diese Ansicht nicht zutreffend, für anomale in beschränktem Grade. Würde durch Queranastomosen die ungleiche Leitung benachbarter Gefässbündel ausgeglichen, so könnten die Blätter von Mais aus den gefärbten Wasserculturen nicht ungleich weit aufwärts gefärbte Gefässbündel aufweisen. In analoger Weise verhalten sich die Blätter von Ricinus, Helianthus, Aristolochia. Fände durch die Anastomosen hindurch ein Ausgleich der Wasserbewegung statt, so müsste in allen Nerven der Farbstoff gleich schnell fortschreiten, was nicht der Fall ist, und woraus dann eben der Schluss gezogen wurde, dass verschiedene Theile des Blattes ungleich stark transpiriren. Die Widerstände, welche sich der Bewegung entgegensetzen, sind voraussichtlich viel zu gross, um eine ausgiebige Wasserbewegung durch die Anastomosen hindurch zu ermöglichen. Unterbricht man jedoch die normale Leitungsbahn, so ersieht man aus der Intensität der Färbung, dass nun eine viel lebhaftere Bewegung durch die Anastomosen hindurch stattfindet, wie aus einigen Versuchen ersichtlich sein wird.

1) Haberlandt, Physiologische Pflanzenanatomie, p. 258.

Ricinus communis.

Ist in einem Blattzipfel der Hauptnerv durchschnitten, so sind die Anastomosen, welche den Nerven dieses Zipfels mit dem benachbarten verbinden, intensiv durch Methylenblau gefärbt. Die Färbung verbreitet sich von dem Nerven des unverletzten Zipfels zu den Anastomosen, durch diese hindurch in den verletzten Zipfel hinein. Aber man kann auch mit Leichtigkeit feststellen, dass sich die Färbung in dem letzteren nur sehr allmählich ausbreitet. Während in den beiden benachbarten unverletzten Zipfeln sich die Färbung bis in die Spitze und in die feineren Nervenverzweigungen verbreitet hat, ist sie in dem verletzten Zipfel nicht weiter vorgerückt als bis etwa 1 cm von der Region der Anastomosen der benachbarten Zipfel. Alles Uebrige des verletzten Zipfels ist ungefärbt. Das gleiche Verhalten zeigen einige andere Blätter. Besser als irgend eine Beschreibung erläutert Fig. 1 (Taf. II) das Mitgetheilte. Nur so weit die Adern und Nerven gefärbt sind, sind sie in der Figur wiedergegeben, und die Intensität der Färbung in der Abbildung entspricht der Intensität der Färbung im Original.

Helianthus tuberosus.

Die Blätter lassen mit Leichtigkeit erkennen, dass die Anastomosen zwischen zwei benachbarten Nerven bedeutend intensiver gefärbt sind, wenn einer durchschnitten wird, als wenn beide unverletzt sind. Aber die Färbung rückt auch hier viel langsamer vor in dem verletzten Theile als in den unverletzten Theilen.

Werden die normalen Leitungsbahnen von Blatttheilen unterbrochen, so sind diese vor die Alternative gestellt, entweder zu vertrocknen oder auf dem einzigen Wege, der vorhanden ist, durch das Parenchym und die dasselbe durchziehenden Anastomosen hindurch ihr Wasser zu beziehen. Stehen also meine Versuche mit Ricinus und Helianthus in gutem Einklang mit den Ergebnissen der Haber-

landt'schen[1]), so zeigen sie andererseits, dass die von Haberlandt auf die normale Wasserbewegung in den Blättern gezogenen Schlüsse nicht zulässig sind. Im Mai durchschnitt Haberlandt in am Baum verbleibenden Blättern von Acer Pseudoplatanus einzelne Nerven und constatirte, dass die Blätter sich wie normale verhielten und auch nicht eher abfielen als diese. Da hier Wasserversorgung nur durch die Anastomosen hindurch möglich war, zieht er den Schluss, dass auch normaler Weise durch dieselben hindurch ein Ausgleich der Wasserversorgung stattfindet. Aus den Färbungserscheinungen in den Ricinus- und Helianthusblättern geht hervor, dass die betreffenden Abschnitte nicht welken, dass dieselben aber viel weniger Flüssigkeit in der gleichen Zeit aufzunehmen vermögen als unverletzte Abschnitte. Gleiches darf wohl für die Haberlandt'schen Ahornblätter angenommen werden. Demnach müssen diese Blatttheile weniger Wasser transpiriren; wie das möglich ist, lässt sich ohne nähere Untersuchung nicht sagen. Vielleicht geht damit Hand in Hand eine verminderte Production organischer Substanz.

Auf eine Verminderung des Wasserbedürfnisses sind vermuthlich auch die Ergebnisse der Dufour'schen[2]) Einkerbungsversuche zurückzuführen. Bei einer Reihe von Pflanzen blieben die Blätter frisch, wenn die Zweige mit Einkerbungen auf entgegengesetzten Seiten versehen waren. Da sich zu gleicher Zeit nachweisen liess, dass gleich behandelte abgeschnittene und in Wasser gestellte Zweige in derselben Zeit weniger Wasser aufsaugen als unverletzte, so scheint thatsächlich ein Minderverbrauch der Blätter an Wasser stattzufinden. Alle Holzgewächse können allerdings eine derartige Unterbrechung der Leitungsbahnen nicht vertragen, da die Blätter vertrocknen. Ebenso ist nicht allen Blättern die Zufuhr durch die Anastomosen genügend, um ein Welken der verletzten Blatttheile zu verhüten. So gehen z. B. die Blätter von Aristolochia Sipho zu Grunde, wenn man einzelne Nerven durchschneidet, falls sie in diesem Zustand zum Transpiriren in Methylenblaulösung gebracht werden.

---

1) l. c. p. 258.

2) Beiträge zur Imbibitionstheorie. Arb. d. Bot. Inst. zu Würzburg. III. Bd. p. 46 ff.

Die Untersuchungen über die Leitungsfähigkeit des Splintholzes, über die Bedeutung des Gefässbündelverlaufes und der Anastomosen für die Wasserversorgung der transpirirenden Flächen haben einige für das Verständniss der pflanzlichen Lebensvorgänge nicht unwichtige Ergebnisse zu Tage gefördert. Wie die Untersuchungen mit Farbstofflösungen erkennen lassen, transpiriren die einzelnen Theile eines Blattes nicht gleich. Demnach findet ein Ausgleich der Wasserversorgung durch die Anastomosen hindurch nicht statt, da eine ausgiebigere Versorgung der transpirirenden Flächen durch die zu denselben gehörigen Gefässbündel als durch das Parenchym und die feinen Verzweigungen benachbarter Nervensysteme vor sich geht. Um die Hindernisse, welche sich der Wasserbewegung auf diesem Wege entgegenstellen, zu bewältigen, bedarf es bedeutenderer Kräfte; und diese werden frei, wenn die directen Leitungsbahnen der betreffenden transpirirenden Blatttheile unterbrochen sind. Eine reichliche Transpiration ist also abhängig von dem normalen Functioniren der betreffenden Gefässbündel resp. Gefässe; und dies harmonirt ja auch mit den Wachsthumsverhältnissen der Blätter, so weit sie sich von allgemeineren Gesichtspunkten aus beurtheilen lassen. Von der Entstehungsgeschichte der einzelnen Gefässbündel wird es abhängen, ob und wie weit sie isolirt (d. h. in Bezug auf die Wasserleitung isolirt) verlaufen. Dass sie bis zu einem bestimmten Grade isolirt wirksam bleiben müssen, ergiebt sich aus dem Umstande, dass die Leitungsbahnen jederzeit nur für eine bestimmte Arbeitsleistung eingerichtet sein können, da die Entfaltung der Anhangsorgane nicht nur von der Natur der Pflanze, sondern auch wesentlich durch äussere Verhältnisse bedingt ist, eine Ausbildung von Leitungsbahnen aber für nicht gebildete transpirirende Flächen in Widerspruch stände mit der ökonomischen Verwendung der Baustoffe durch die Pflanzen. Bei weiterem Verlaufe treten die Gefässbündel in bestimmte Beziehungen zu einander; über die organische Verschmelzung derselben ist jedoch nur wenig bekannt. Jene Verbindungen sind nicht im Stande eine Ausgleichung der Wasserversorgung ungleich transpirirender Blätter, wie bisher angenommen wurde, zu bewirken. Auch ist ein solcher Ausgleich nicht erforderlich. Bei Unterbrechung eines Theiles der directen Leitungsbahnen spielt der Gefässbündelverlauf eine analoge Rolle wie die Anasto-

mosen in den Blättern. Hier wie dort taucht die Frage auf, ob auf solchem Wege die normale Wassermenge geliefert werden kann. Die voraussichtliche Verneinung dieser Frage würde das Accomodationsvermögen der Pflanzen in helles Licht stellen.

Mit dem Wachsthum der Blätter (bei den Holzgewächsen auch mit der Neubildung derselben) wird die Bildung neuer Leitungsbahnen aus den angeführten Gründen erforderlich; es tritt secundäre Holzbildung auf. Da auf dem directesten Wege die ausgiebigste Leitung möglich ist, so wird jeder Blatttheil und jedes Blatt im Wesentlichen durch die zu denselben gehörigen Gefässe mit Wasser versorgt. Für die jeweilig vorhandene Menge Anhangsorgane sind aber die Leitungsbahnen repräsentirt durch das secundäre Holz des letzten Jahresringes. Hier muss also die lebhafteste Wasserbewegung stattfinden. Aeltere Jahresringe betheiligen sich entweder gar nicht oder nur in geringem nach Species verschiedenem Maasse (vielleicht von oben nach unten im Baum an Zahl zunehmend) an der Bewegung, da in Folge der stetig wachsenden Widerstände die Möglichkeit für eine ausgiebige Leitung sich verringert, falls nicht ein vollständiger Verschluss der Gefässe bereits stattgefunden hat. Deshalb nimmt die Leitungsfähigkeit des Splintholzes centripetal ab.

Man geht wohl nicht fehl, wenn man vermuthet, dass der ungleichen Transpiration eine ungleiche Production organischer Substanz entspricht. Ebenso wenig, wie der Gefässbündelverlauf einen vollständigen Ausgleich der Wasserversorgung ermöglicht, ebenso wenig braucht angenommen zu werden, dass durch ihn die producirte organische Substanz gleichmässig über die ganze Pflanze vertheilt wird. Gerade dadurch, dass dies nicht geschieht, wird das ungleichmässige Dickenwachsthum, etwa der Stengel ermöglicht. Fände eine vollkommene Substanzvertheilung statt, so müsste beim secundären Holze ein Jahresring allseitig von gleicher Dicke sein. Nun trifft dies durchaus nicht zu; vielmehr scheint das concentrische Dickenwachsthum die Ausnahme, das excentrische die Regel zu bilden. Ebenso erklärt sich nur aus ungleicher Substanzzufuhr das Auftreten vieler falscher Jahresringe.

Karlsruhe, im Februar 1888.

Figuren-Erklärung.

Tafel II.

Fig. 1. Theil eines Blattes von Ricinus communis, das in Methylenblaulösung transpirirt hat, nachdem die Hauptnerven einzelner Blattabschnitte durchschnitten worden waren, wie es in der Zeichnung angedeutet ist. In derselben ist die Verbreitung des Farbstoffes durch blaue Farbe wiedergegeben, die freilich nicht ganz dieselbe Nuance ist wie die des Originals. Nur diejenigen Adern und Nerven wurden gezeichnet, welche gefärbt waren; auch sie lassen Unterschiede in der Intensität erkennen, was auch wiederzugeben versucht wurde. Aus der Verbreitung des Farbstoffes erkennt man, dass der Abschnitt mit dem durchschnittenen Nerven sein Wasser durch die Anastomosen, welche sein Gefässsystem mit dem der benachbarten Zipfel verbinden, bezieht; dass jedoch auf diesem Wege nur eine weniger reichliche Versorgung mit Wasser (resp. Farbstoff) stattfinden kann, als bei den Abschnitten mit verwundeten Hauptnerven (Verkleinert, 106 : 179).

Fig. 2. Theil eines Blattes von Aristolochia Sipho. Das Blatt hatte in Methylenblau transpirirt. An einer einzigen Stelle dieses Theiles hat sich der Farbstoff bis in die allerletzten Verzweigungen der Nerven verbreitet. Im übrigen Theil beschränkt sich die Färbung auf die grösseren Nervenverzweigungen. Es sind hier die feineren Verzweigungen weggelassen, da sie erst hervortreten, wenn sie gefärbt sind. (Vergrössert, 31 : 21.)

Ueber die Entstehung der Kalkincrustationen an Süsswasserpflanzen.

Von

N. Pringsheim.

Ein Aufsatz über die Entstehung der Kalkincrustationen an Wasserpflanzen, der soeben in den von Professor Pfeffer herausgegebenen Untersuchungen aus dem botanischen Institut in Tübingen erschienen ist, giebt mir Veranlassung auf einige sehr einfache und leicht ausführbare Versuche zurückzukommen, durch welche ich schon vor Jahren den Zusammenhang dieser Erscheinung mit der Assimilation nachgewiesen habe und die der Verfasser des obigen Aufsatzes, Herr Dr. Hassack, übersehen zu haben scheint. Ueber die Ergebnisse der betreffenden Versuche habe ich damals in Verbindung mit meinen Untersuchungen über die primären Wirkungen des Lichtes auf die Vegetation [1]) schon, soweit nöthig, berichtet. Hier beabsichtige ich dieselben etwas ausführlicher und eingehender zu beschreiben und einige weitere Bemerkungen an sie anzuknüpfen. Meine Versuche bezogen sich ausschliesslich auf die Bildung der Kalkniederschläge auf der Oberfläche unserer Süsswasserpflanzen; es wurden aber auch einige Landpflanzen in die Versuche hineingezogen.

Die biologischen Ursachen, welche die Entstehung dieser Niederschläge hervorrufen, waren damals noch nicht genügend aufgeklärt, und sind es zum Theil auch jetzt noch nicht. Dass sie keine zu-

---

1) Monatsberichte der Berliner Akademie d. Wiss. v. 16. Juni 1881.

fälligen Ablagerungen von kohlensaurem Kalk bilden, die sich aus den im Wasser gelösten Kalksalzen ohne Einfluss der Pflanze spontan abgesetzt haben, lehrt eigentlich schon jede oberflächliche Beobachtung. Auch wird diese Ansicht, die gleichwohl noch immer Vertreter findet, durch ihre Bildungsweise und die in vielen Fällen sehr regelmässige Art ihrer Ablagerung und ihres Auftretens entschieden widerlegt.

Die nächstliegendste und älteste Vorstellung über ihre Entstehung, die Bischoff[1]) für die Kalkhülle der Characeen aussprach, wonach sie das Product der Secretion eines Kalksalzes aus dem Inneren der Charen-Zellen sein soll, lässt sich nicht sicher erweisen. Für dieselbe spricht zwar einigermaassen auch die Angabe von Cohn[2]), dass bei Chara aspera die Kalkincrustationen auch im Inneren der Rindenzellen, auf der Innenseite ihrer Membranen abgelagert sind, und solche Kalkausscheidungen kommen ja bei Landpflanzen unzweifelhaft vor; allein bei Wasserpflanzen scheint andererseits die Annahme, dass ein ausgeschiedenes lösliches Kalksalz bei seinem Austritt ins umgebende Wasser kohlensauren Kalk fallen lässt, ausgeschlossen, oder doch auf Schwierigkeiten zu stossen, jedenfalls fehlt es hier an jedem positiven Nachweise.

Dem gegenüber verbreitete sich nun schon früh die Vorstellung, dass die Incrustationen auf der Oberfläche der Wasserpflanzen nur eine Assimilationswirkung der incrustirten Pflanzen sind. Man dachte sich, dass die Pflanzen in unseren natürlichen Gewässern, in welchen der kohlensaure Kalk zum Theil durch Kohlensäure gelöst, gleichsam als Bicarbonat, enthalten ist, ihren Kohlensäurebedarf unter Umständen diesem Calcium bicarbonat entnehmen und dass in Folge hiervon der neutrale kohlensaure Kalk sich niederschlägt.

Ich werde weiter unten noch zu untersuchen haben, ob diese Hypothese in der That alle Erscheinungen genügend aufklärt, die bei der Entstehung der Kalkniederschläge auf den Süsswasserpflanzen zur Beobachtung gelangen, oder ob sie nicht etwa noch einer Vervollständigung bedarf. Hier will ich zuvörderst zeigen, dass meine im Eingang erwähnten älteren Versuche schon den bestimmten Nach-

1) Die kryptogamischen Gewächse Deutschlands und der Schweiz. Nürnberg, 1829.

2) Abhandlungen der Schlesischen Gesellschaft für vaterl. Cultur, 1862. Heft II, p. 53.

weis liefern, dass die Assimilation allein ähnliche Niederschläge, wie die unter natürlichen Verhältnissen vorkommenden auf Pflanzenzellen hervorzurufen vermag. —

Ich muss jedoch noch vorausschicken, dass der Gegenstand damals, als ich diese Versuche anstellte, ganz abgesehen von der Erklärung der natürlich vorkommenden Kalkincrustationen für mich noch ein besonderes, und zwar vorwiegendes Interesse besass, welches mit den Untersuchungen über Assimilation, die mich damals beschäftigten, zusammenhing. Ich suchte auf diesem Wege nach einem mikroskopischen Merkmal zum Nachweise der Kohlensäure-Aufnahme bei der Assimilation.

Wenn die Entstehung der Kalkniederschläge wirklich, so wie man es sich dachte, von der Assimilation abhing, so erschien es möglich, ihre Bildung an mikroskopischen Objecten in Calciumbicarbonat-Lösung beliebig hervorzurufen, und ihre künstliche Hervorrufung war dann zugleich in zweifelhaften Fällen als mikroskopisches Merkmal für die Assimilation zu verwerthen. Dies gelang und hierdurch erschien auch der Zusammenhang der Assimilation mit den natürlichen Kalkniederschlägen genügend aufgeklärt. An der Stelle in meiner bereits citirten Abhandlung, wo ich das Verhalten einer Zelle bespreche, die bei Abschluss von Sauerstoff dem intensiven Sonnenbilde in Form einer grossen Sammellinse ausgesetzt wird, ist diese Veranlassung zu meinen Versuchen und ihr Ergebniss mitgetheilt, es heisst dort:[1]) „Sie — die Zelle — lebt nicht nur ungestört weiter, sondern führt auch ihre physiologischen Functionen in normaler Weise fort. Namentlich habe ich mich durch besondere, directe Versuche noch eigens davon überzeugt, dass die belichtete Zelle später auch noch in normaler Weise Kohlensäure assimilirt. Man kann dies am einfachsten, leicht und bequem, nachweisen, wenn man die Präparate nach der Insolation in Lösungen von saurem kohlensauren Kalk legt. Unter Ausscheidung von Gasblasen schlägt sich dann der kohlensaure Kalk im Lichte in Form von mikroskopischen, leicht kenntlichen, krystallinischen Concretionen äusserlich auf der Wand der Zelle nieder, als Beweis, dass die Zelle der

1) Ueber die primären Wirkungen des Lichtes auf die Vegetation, a. a. O. pag. 524 (23).

Flüssigkeit im Lichte Kohlensäure entzogen hat. Durch eine besondere Reihe höchst einfacher Versuche, über die ich mir vorbehalte, später genauer zu berichten, lässt sich leicht zeigen, dass der Niederschlag von kohlensaurem Kalk, welcher so häufig unsere Wasserpflanzen bekleidet, in der That eine causale Folge der Assimilation ist. Man kann denselben in wenigen Stunden beliebig hervorrufen und schrittweise unter dem Mikroskope beobachten, wie der Panzer von kohlensaurem Kalk allmählich entsteht und sich verbreitet, wenn man die betreffenden Pflanzen, Charen, Nitellen, Conferven, Moose, verschiedene Phanerogamen, Wasserpflanzen namentlich, etc. auf Objectträgern in Lösungen von saurem kohlensauren Kalk bringt. Die bekleidenden Niederschläge von kohlensaurem Kalk entstehen bei solchen Versuchen, wenn Verdunstung und Diffusion der Kohlensäure verhindert sind, nur im Lichte, nicht im Finsteren, im Lichte aber entstehen sie immer unter gleichzeitiger Ausscheidung von Sauerstoffblasen. Man darf daher umgekehrt die Entstehung der Niederschläge im Lichte, wie ich es oben im Texte gethan habe, als Probe und Beweis für die Assimilation benutzen.“

Die genauere Beschreibung des einfachen Verfahrens, welche ich bei diesen Versuchen damals einhielt und die ich nun folgen lasse, wird zugleich zeigen, in wie weit und unter welchen Umständen diese Versuche zum Nachweis der Assimilation eines mikroskopischen Objectes dienen können.

Die Objecte, die ich den Versuchen unterwarf, waren vorzugsweise Charen, dann Nitellen — flexilis und mucronata — ferner Spirogyren, Conferven, Moose namentlich Mnium-Blätter, endlich auch Vorkeime von Farnkräutern, so z. B. von Aspidium violaceum, und andere mehr. Die Objecte wurden auf grossen Objectträgern unter grosse Deckgläser in Wasser gelegt, welches mit doppeltkohlensaurem Kalk ganz oder nahezu gesättigt war. Das Calciumbicarbonat wurde hergestellt durch langes Stehenlassen von mit Kohlensäure gesättigtem Wasser über überschüssigem kohlensauren Kalk. Die kleinen Objecte wurden möglichst entfernt vom Rande des Deckglases untergebracht, sie waren vorher mikroskopisch sorgfältig auf Kalkincrustationen geprüft und selbstverständlich nur solche Objecte dem Versuche unterworfen, die absolut frei davon waren.

Von Charen und Nitellen sind nur Sprossspitzen mit ein bis zwei beblätterten Internodien benutzt worden. Die so hergestellten Präparate wurden in der gewöhnlichen Weise unter Feuchtglocken vor Verdunstung geschützt. Wenn man die Glocken, die man über die auf niedrigen Trägern ruhenden Präparate stülpt, und die mit ihrem unteren Rande in Wasser tauchen, ihrer Grösse nach zweckmässig wählt und ausserdem an ihrer inneren Seite noch mit einigen angefeuchteten Papierstreifen auskleidet, so gelingt es bei Vermeidung allzugrosser Temperaturschwankungen, ein spontanes Ausfallen von kohlensaurem Kalk im ganzen Versuchstropfen und unbedingt unter dem Deckglase, zu verhindern. In solchen Präparaten stellen sich nun im Calciumbicarbonat-haltigen Wasser und im Licht schon nach 26 bis 34 Stunden, je nach Energie der Assimilation und dem Gehalt an Kalksalz im Tropfen früher oder später, die ersten deutlich erkennbaren krystallinischen Kalkniederschläge auf den Zellen ein. Im Laufe der folgenden Tage nehmen diese nach und nach an Zahl und Grösse zu. Es ist leicht erkennbar, dass diese Wirkung von den Versuchsobjecten ausgeht, und dass hier kein spontaner Niederschlag des Kalksalzes aus der Flüssigkeit vorliegt. Der Niederschlag stellt sich nur auf den lebenden pflanzlichen Objecten ein, und allerhöchstens finden sich noch in allernächster Nähe dieser Objecte vereinzelte Krystalle vor; im Uebrigen ist der ganze Raum unter den Deckgläsern bis zu ihrem Rande frei von Kalkkrystallen. Zur grösseren Sicherheit habe ich unter die Deckgläser neben die lebenden auch nicht assimilirende Objecte — z. B. Glas- oder Baumwollenfäden — gebracht. Die Kalkkrystalle treten regelmässig nur auf den assimilirenden Objecten auf; die nicht assimilirenden sind absolut frei davon, mit Ausnahme vielleicht hier und da an einer vereinzelten Stelle in nächster Nachbarschaft der assimilirenden Pflanze.

Ferner kann man sich noch überzeugen, dass es nicht etwa schon genügt, den Objecten jedes beliebige Kalksalz zur Aufnahme zuzuführen, um die Kalkkrystalle zu erzeugen. Ich habe dies wenigstens in ähnlich ausgeführten Versuchen mit Lösungen von neutralem kohlensaurem Kalk feststellen können. Es verdient hierbei bemerkt zu werden, dass die lebenden pflanzlichen Objecte in wässerigen Lösungen von neutralem kohlensaurem Kalk — auch

wenn dieselben vollständig gesättigt sind — sich auf den Objectträgern und unter den Deckgläsern wochenlang frisch erhalten können und ungestört fortvegetiren. Sie behalten ihre normale, anatomische Beschaffenheit und auch ihre physiologischen Functionen; in Charen und Nitellen bleibt zum Beispiel auch die Plasmabewegung in normaler Weise und lebhaft bestehen. Wie lange man aber auch den Versuch im neutralen kohlensauren Kalk fortsetzt, niemals entstehen hier die Kalkniederschläge auf den Zellen, die im Calciumbicarbonat sich stets und regelmässig einfinden. In diesem entstehen sie daher offenbar in Folge einer Entziehung der Kohlensäure des Bicarbonates durch die Pflanze und diese Entziehung muss zunächst auf den Assimilationsact der Pflanze bezogen werden. Diese Auffassung findet ihre weitere Bestätigung bei vergleichenden Versuchen im Finstern und im Lichte. Die Niederschläge entstehen im Finstern auch in den Lösungen des doppeltkohlensauren Kalkes niemals; im Lichte dagegen immer. Den Verlauf eines solchen Control-Versuches, der zugleich über den Entwickelungsgang der Niederschläge Auskunft giebt, will ich hier nach einer meiner älteren handschriftlichen Notizen noch wörtlich wiedergeben. —

Am 10. Juni 1881 wurden zwei durchaus gleichartige Präparate A. und B. hergestellt. Beide bestanden aus je zwei gleichartigen frischen Sprossenden von Nitella flexilis, die ganz rein von Kalkincrustationen waren und die von einem grossen Deckglase gedeckt in einer nahezu gesättigten wässerigen Lösung von sog. saurem kohlensaurem Kalk lagen. Neben den Nitellen-Sprossen waren in jedem Präparate noch einige nicht assimilirende Objecte — Glas- und Baumwollenfäden — untergebracht. Jedes der beiden Präparate wurde getrennt vom anderen unter eine besondere Feuchtglocke gebracht. Beide Glocken mit den Präparaten wurden neben einander ans Fenster, aber nicht in die directe Sonne gestellt. Die eine Glocke, A, wurde verfinstert, mit schwarzem Papier überklebt, die andere, B, blieb dagegen dem diffusen Tageslicht ausgesetzt. Bezüglich Temperatur, Verdunstung und Kalkgehalt im Tropfen verhielten sich beide Präparate gleich.

Am 11. Juni.

In A, im Finstern: Nirgends Kalkkrystalle sichtbar;

In B, im Licht: Einige grössere, aber meist ganz kleine

Krystalle finden sich spärlich und ganz sporadisch hier und da an einigen Internodien und Blattzellen. Es treten auf der einzelnen Zelle immer nur einzelne, oder sehr wenige Krystalle weit von einander entfernt auf.

Am 12. Juni.

In A, im Finstern: Nirgends auch nur die geringste Spur von Kalkkrystallen.

In B, im Licht: Zahlreiche isolirte Krystalle von kohlensaurem Kalk sporadisch auf den Zellen; hin und wieder auch ganz in der Nähe der Nitellen. Dagegen fehlen dieselben schon in einiger Entfernung von der assimilirenden Pflanze durchweg im ganzen Tropfen unter dem Deckglase.

Am 14. Juni. Der Unterschied zwischen dem verdunkelten und dem nicht verdunkelten Präparate ist jetzt ausserordentlich stark ausgesprochen, obgleich die Tage seit dem 10. sehr trübe waren und das belichtete Präparat niemals von directen Sonnenstrahlen getroffen wurde.

In A, im Finstern: Nirgends Kalkausscheidungen, auch nirgends Gasblasen unter dem Deckglase.

In B, im Licht: Finden sich bereits ausserordentlich reichlich Kalkkrystalle, auch grosse, — offenbar gewachsene, — überall zerstreut auf der Pflanze und auch in der Nähe derselben ausgeschieden. Einzelne finden sich auch auf den Glas- und Baumwollenfäden, aber auf diesen immer nur ganz in der Nähe der Pflanze, nirgends in einiger Entfernung von derselben. Auf den Zellen der Pflanze selbst sind die Krystalle jetzt theils noch sporadisch verbreitet, theils liegen ihrer mehrere, oder viele nebeneinander und bilden ab und zu an einzelnen Stellen schon fast zusammenhängende Incrustationen.

Diese Versuche lehren zum mindesten soviel, dass es in relativ kurzer Zeit gelingt, in einer Lösung von saurem kohlensauren Kalk Kalkniederschläge auf Pflanzenzellen zu erzeugen, die, wie ich gleich vorwegnehme, den jugendlichen Zuständen der Incrustationen gleichen, die auf den Süsswasserpflanzen an ihren natürlichen Standorten in unseren kalkhaltigen Gewässern vorkommen. Aus dem Umstande,

dass die Niederschläge nur im Lichte und nur auf assimilirenden Objecten auftreten, darf man schliessen, dass es sich bei ihrer Bildung um eine Assimilationswirkung handelt, und da diese Niederschläge in meinen Versuchen auf allen geprüften Pflanzen auftraten, auch auf solchen, die an ihren natürlichen Standorten selten oder garnicht incrustirt werden, darf man sie dort, wo sie entstehen, als sichere Zeichen für Assimilation ansehen und sie als Assimilationsnachweis benutzen. Ihre künstliche Hervorrufung hat daher einen gewissen methodischen Werth für die Assimilation. Ein so leicht erkennbares Merkmal, welches bei der unmittelbaren mikroskopischen Beobachtung ohne jede vorherige Präparation am Untersuchungsobjecte in die Erscheinung tritt, kann in vielen Fällen mit Vortheil in Anwendung kommen, auch neben den anderen Mitteln, die wir besitzen, um uns von der Assimilationsfähigkeit eines mikroskopischen Objectes zu überzeugen. Dann aber hat diese Methode des Assimilationsnachweises, wie ich schon an anderer Stelle hervorhob [1]), noch einen wesentlichen Vorzug vor der gasanalytischen und der Bacterien-Methode. Während diese beiden letzteren auf die Sauerstoffabgabe des Objectes zurückgehen, daher nur indirect die Aneignung von Kohlenstoff durch dasselbe erschliessen lassen, bringt der entstehende Niederschlag von kohlensaurem Kalk die Entziehung der Kohlensäure aus der Umgebung durch das Object direct zur Anschauung. Selbstverständlich muss man diese Versuche, wenn sie eine empfindliche Reaction auf Assimilation geben sollen, in möglichst gesättigten Calciumbicarbonatlösungen und unter Vermeidung eines etwaigen Ueberschusses von freier Kohlensäure ausführen, zugleich aber dafür Sorge tragen, dass kein spontaner Niederschlag von kohlensaurem Kalk erfolgen kann. Dieser letztere Umstand kann übrigens kaum einen Irrthum veranlassen, denn der Ort, wo der Niederschlag sich absetzt, entscheidet unter den vorhandenen Versuchsbedingungen auch über seinen Ursprung, namentlich wenn gleichzeitig nicht assimilirende Objecte neben dem zu prüfenden Versuchsobjecte vorhanden sind.

Für die Frage, von der ich ausgegangen bin nach der Entstehung der natürlichen Kalkniederschläge auf unseren Süsswasser-

1) Ueber Inanition etc. Berichte d. Deutsch. Bot. Gesellsch. 1887, p. 297.

pflanzen, speciell der Charen, bleibt aber noch ein Punkt zu erörtern. Es bleibt zu untersuchen, ob die in Calciumbicarbonat gleichsam künstlich in meinen Präparaten hervorgerufenen Niederschläge in ihrer Entstehung mit den natürlichen identisch sind, und ob die Assimilation für sich allein genügt alle Erscheinungen aufzuklären, die bei der Bildung der natürlich vorkommenden Incrustationen in Betracht kommen. Hier scheint auf den ersten Blick noch nicht Alles klar zu liegen. Namentlich waren es die grossen Verschiedenheiten, die verschiedene Pflanzen derselben Localität in ihrer Incrustation zeigen, die zu Zweifeln Veranlassung gegeben haben. Diese werden aber wie ich glaube, durch die Beobachtung der allmälichen Entstehung der Niederschläge auf den einzelnen Zellen und Organen der sich incrustirenden Pflanzen zerstreut, und ihre Verbreitung und Anordnung auf verschiedenen Theilen derselben Pflanzen eröffnet, wie mir scheint, auch das Verständniss der Verschiedenheiten, die bei verschiedenen Pflanzen derselben Localität vorkommen. In allen Einzelheiten der Entstehung und Verbreitung zeigt sich übrigens eine so grosse Uebereinstimmung bei den natürlichen und künstlichen Niederschlägen, soweit die letzteren in ihrer Entwickelung verfolgt sind, dass über die Identität der Ursachen, die sie hervorrufen, kaum Zweifel obwalten können.

Bei den künstlichen sahen wir, dass die Zellen, wenn die Incrustation beginnt, sich nicht etwa, wie man vielleicht erwarten möchte, mit einem die ganze Zellwand gleichmässig bekleidenden minimalen Niederschlag bedecken, sondern dass vielmehr zuerst nur hier und da einzelne Krystalle sporadisch auftreten, die ganz unregelmässig über die Zelle vertheilt und zerstreut sind. Wenn der Vorgang fortdauert, wachsen die erstgebildeten Krystalle, es entstehen neue zwischen ihnen und so bildet sich nach und nach, bald hier bald da auf der Zelle, eine massigere und zusammenhängendere Lage von Krystallen. Diese stellt aber, auch wenn der Vorgang schon weiter vorgeschritten ist, immer noch nur eine vielfach und unregelmässig unterbrochene krystallinische Bedeckung dar. An der einen Stelle der Zelle ist der Niederschlag reichlich, an der anderen spärlich vertreten. Dieselben Verschiedenheiten machen sich an benachbarten, verschiedenen Zellen desselben Präparates geltend.

Die eine Zelle zeigt einen reichlicheren Ueberzug von Krystallen,

während sich auf der benachbarten nur einige wenige, oder nur ganz vereinzelte Krystalle vorfinden. So sieht es fast aus, als ob das Auftreten des Niederschlages ganz regellos wäre und nur vom Zufall abhinge. Es wird aber vielmehr hierdurch augenscheinlich, dass an den Zellen locale Bedingungen obwalten, welche die Entstehung der Niederschläge an der einen Zelle vor der anderen und an der einen Stelle einer Zelle vor einer anderen Stelle derselben Zelle begünstigen, und die es daher veranlassen, dass der Niederschlag an einzelnen Stellen früher und reichlicher entsteht als an anderen, und wieder an anderen ganz ausbleibt.

Die gleichen localen Differenzen beobachtet man nun auch bei der Entstehung und Verbreitung der natürlichen Incrustationen.

An derselben Localität zeigen bekanntlich grüne Pflanzen mehr oder weniger regelmässige und reichliche Kalkincustationen, andere nur geringe oder gar keine. Diese Verschiedenheiten sind oft betont; sie erscheinen, wenn die Assimilation die Ursache der Niederschläge sein soll, auf den ersten Blick sehr auffallend und fordern zu einer Erklärung auf. Allein die gleichen Verschiedenheiten zeigen sich auch unter den natürlichen Bedingungen an verschiedenen Organen und verschiedenen Zellen derselben Pflanze. Die Characeen, von denen die meisten ja typisch und constant incrustirt sind, liefern hierfür instructive Beispiele. Auch bei denjenigen, die starke Incrustationen besitzen, treten dieselben, wenigstens bei den von mir untersuchten Formen und unter den mir vorliegenden Verhältnissen, bei den jugendlichen Theilen gar nicht auf. Die jüngsten schön grünen Sprossspitzen sind nicht incrustirt; die ersten Spuren der Incrustation zeigen sich an etwas älteren Internodien und Blättern. Ebenso findet man die nackten Endzellen der Blätter auch bei stark incrustirten Charen frei von Incrustationen, während schon die unmittelbar darunter befindlichen Glieder incrustirt sind. Diese Unterschiede treten sogar an verschiedenen Stellen derselben Zelle hervor. So ist es ein regelmässiges Vorkommen bei den Charen, dass der Kalküberzug auf den von der Rinde umhüllten Centralzellen der Glieder — den sogenannten secundären Gliederzellen — keine vollständige Bekleidung der Zelle darstellt, sondern nur in mehr oder weniger regelmässigen Querreihen angeordnet ist. Die Incrustation erscheint hier auf der secundären Gliederzelle in sehr zierlicher Weise als eine

auf bestimmte Zonen der Zelle beschränkte Bildung. Dies ist übrigens auch bei unberindeten Characeen eine häufig vorkommende Erscheinung. Braun hebt dies Verhältniss besonders für Nitella syncarpa, capitata, opaca in den Fällen hervor, in welchen diese Nitellen überhaupt incrustirt vorkommen[1]), und Bischoff schon zeichnet einen derartigen Fall von Chara (Tolypella) glomerata.[2])

Die örtliche Bevorzugung der Niederschlagsbildung ist daher auch an den natürlichen Standorten die durchgreifende Regel, sie tritt aber nicht nur, wie man bisher bei der Frage nach der Entstehung der Niederschläge nur einseitig berücksichtigt hat, an verschiedenen Pflanzen derselben Localität, sondern auch an verschiedenen Stellen derselben incrustirten Pflanze hervor.

Dem entspricht nun auch die allmäliche Bildung der natürlichen Incrustationen, die genau den gleichen Entwickelungsgang einhält, wie bei der künstlich auf den Objectträgern entstandenen. Die Zellen werden nicht auf einmal an ihren incrustirenden Flächen mit dem Niederschlage bedeckt, sondern man findet sie auch hier zuerst nur sporadisch mit einzelnen Krystallen bedeckt; später sieht man die Krystalle grösser und ihre Anzahl ist vermehrt und erst die Zellen, welche ältere Incrustationen besitzen, zeigen eine reichlichere und mehr zusammenhängendere Decke. So entsteht auch in den Zonen der zonenartig incrustirten Pflanzen die krystallinische Bekleidung nicht auf einmal, sondern in der gleichen Weise bildet sie nur allmälich ihre characteristische Form aus.

Man kann daher mit Recht nach den Ursachen fragen, die jene örtlichen Bevorzugungen der Niederschlagsbildung veranlassen. Nun treten ja auch in anderen Fällen bei dem langsamen Ausfallen von Niederschlägen aus ihren Lösungen ähnliche Erscheinungen auf. Diese nicht immer bestimmt aufgeklärt, beruhen, wie man anzunehmen geneigt ist, in sehr geringen Differenzen in der Beschaffenheit, oder der Form und Gestaltung des Bodens, auf welchem der Niederschlag sich absetzt. Die Annahme liegt nahe, dass ähnliche Verhältnisse auch hier eine Rolle spielen. Man könnte auch hier an geringe, noch unermittelte Differenzen in der Beschaffenheit der

1) Kryptogamen-Flora von Schlesien, pag. 396, 397 und Flora, Regensburg 1835, pag. 49.

2) Kryptogamische Gewächse Deutschlands und der Schweiz, Taf. I, Fig. 8.

Oberfläche der Zellmembranen denken an den Stellen, an welchen der Niederschlag mit Vorliebe entsteht. Man könnte aber im vorliegenden Falle auch an Verhältnisse denken, wie sie an Wurzelhaaren auftreten und dort das Anhaften der Endpartikelchen des Bodens an bevorzugte Stellen derselben veranlassen. Es wäre daher denkbar, dass hier zur Assimilationswirkung, welche die eigentliche Ursache der Niederschlagsbildung ist, noch besondere, von ihr unabhängige, locale Bedingungen hinzutreten, die die ungleiche Ablagerung und Ansammlung der Niederschläge bestimmen. Allein der mehr regelmässige Charakter, welchen die Kalkablagerung in vielen Fällen annimmt, führt doch andererseits dazu, einen näheren und directeren Zusammenhang der zum Theil nur sporadischen Verbreitung der Niederschläge mit der wahren Ursache ihrer Bildung vorauszusetzen. Doch aber ist deshalb die Annahme noch nicht nöthig, dass diese Ursache nur an jenen Stellen wirksam ist, wo die Niederschläge wirklich ausfallen, und es scheint mir daher, worauf ich hier noch eingehen muss, in der örtlichen Bevorzugung, welche die Niederschlagsbildung erkennen lässt, durchaus kein Grund vorhanden, nach einer anderen Ursache für dieselbe zu suchen, als sie bereits in der Assimilation der incrustirten Pflanzen gegeben ist. Die Assimilation und die durch dieselbe bewirkte Kohlensäure-Entziehung in dem umgebenden Wasser, genügt vielmehr, wie mir scheint, für sich allein schon, auch die beobachteten Differenzen in der örtlichen Anlagerung der Niederschläge verständlich zu machen, wenn man die relative Grösse der Assimilationsenergie an verschiedenen Pflanzen und an verschiedenen Regionen derselben Pflanzen und Organe berücksichtigt, und auch die vorhandenen Bedingungen in den natürlichen Gewässern, unter welchen der kohlensaure Kalk hier niedergeschlagen werden kann, mit in die Betrachtung zieht.

Bei der chemischen Zusammensetzung unserer meisten natürlichen stagnirenden und fliessenden Gewässer, in welchen incrustirte Pflanzen gefunden werden und die doch mit wenigen Ausnahmen nicht als mit Kohlensäure und Kalk gesättigt betrachtet werden dürfen, muss offenbar das Ausfallen des Kalkniederschlages von der Energie der Assimilation an den verschiedenen Stellen der untergetauchten Pflanzen abhängen. Der Niederschlag wird nothwendig bedingt von dem Verhältniss zwischen der Energie der Assimilation und dem

Sättigungsgrade des Wassers an Kalksalzen und an Kohlensäure an der besonderen Stelle, wo dem Wasser durch die Assimilation Kohlensäure entzogen wird. Auch vorhandene Beimengungen von alcalischen Salzen werden hierbei eine Rolle spielen. Geschieht die Entziehung der Kohlensäure an einer localen Stelle im Wasser rascher als der Ausgleich durch Diffusion erfolgen kann, so wird hier ein Niederschlag entstehen können, ohne dass dieser unter den dazu gegebenen Verhältnissen sich später wieder aufzulösen braucht. Der Niederschlag wird daher dort am frühesten erfolgen und auch am raschesten zunehmen, wo die grössere locale Energie der Assimilation herrscht. An sich kann es daher kaum etwas Auffallendes haben, wenn in Gewässern mit geringerem Kalkgehalt schwach assimilirende Pflanzen sich an derselben Localität gar nicht incrustiren, an welcher Charen mit ihrem starken Gaswechsel Kalkincrustationen zeigen. Man versteht ferner leicht, warum an einzelnen Localitäten — auch in kalkhaltigem Wasser — verschiedene Pflanzen z. B. Nitellen nicht incrustirt werden, an anderen kalkreicheren Standorten aber geringe oder zonenartige Incrustationen zeigen. Diese scheinen eben nichts Anderes zu sein, als Beweise für eine relativ grössere Energie der Assimilation an den Orten, wo sie auftreten. Die grosse Verschiedenheit, die in der Grösse der Assimilation zwischen verschiedenen Stellen derselben Pflanze besteht, ist bekannt. Jugendliche Theile assimiliren schwächer, als ältere. Dies erklärt, warum die jüngsten Sprossspitzen der Charen, wo sie in Gewässern vorkommen, die mit Kalksalzen nicht geradezu gesättigt sind, regelmässig sich nicht incrustirt zeigen. Ebenso ist es klar, warum die unberindeten Glieder- und Blattzellen der Charen, z. B. die nackten Endzellen der Blätter, schwach oder gar nicht, ihre benachbarten, berindeten Gliederzellen dagegen stark incrustirt sind. Endlich finden auch die auffallendsten Ungleichheiten der Incrustation, die zur Beobachtung gelangen, die an verschiedenen Stellen ein und derselben Zelle, und ebenso das isolirte, sporadische Auftreten von Krystallen bei beginnender Incrustation durch die vorhandenen Unterschiede in der Assimilationsgrösse ihre ausreichende Erklärung. Es ist eine sichere Thatsache, für welche mir zahlreiche Erfahrungen vorliegen, und auf die ich schon an anderer Stelle hingewiesen habe[1]), dass

1) Ueber Inanition u. s. w. Berichte d. D. B. G. 1887, p. 295.

auch an verschiedenen Punkten im Umfange einer einzelnen Zelle eine ihrer Grösse nach sehr verschiedene Assimilationsenergie herschen kann. Es kommen hier zum Theil vorübergehende Erschöpfungen oder Schwächungszustände der Assimilationsfunction zur Anschauung, welche zeitweise und ganz unabhängig vom Chlorophyllgehalt an einer Zelle und an verschiedenen Stellen derselben Zelle eintreten und leicht auch mit der Bacterienmethode erkannt werden können, wenn man die Assimilation zahlreicher Zellen der verschiedensten Pflanzen auf diesen Punkt hin einer genauen und sorgfältigen Prüfung unterzieht. Die ungleiche Ablagerung und Vertheilung der Kalkniederschläge auf ein und derselben Zelle ist nur ein Ausdruck dieser Ungleichheiten der Assimilation und findet in ihr zugleich ihre Erklärung. Doch wäre es, wie bereits oben bemerkt, immerhin denkbar, dass neben diesen vorhandenen Differenzen der Assimilationsenergie hier und da noch nicht genügend aufgeklärte, von der Assimilation unabhängige, örtliche Bedingungen bei dem localisirten Auftreten der Niederschläge zur Mitwirkung gelangen. Man hätte dann aber immer zu unterscheiden zwischen der eigentlichen Ursache der Niederschlagsbildung aus dem umgebenden Wasser, die zweifellos in der Assimilation und den relativen Assimilationsgrössen zu suchen ist, und zwischen etwa noch vorhandenen, anderweitigen specifischen Bedingungen, die ihre Anlagerung und Anhäufung an bevorzugten Stellen begünstigen könnten. —

Diese Betrachtungen und die hier dargelegten Thatsachen sind nun für mich auch maassgebend bei der Beurtheilung einer Hypothese über die Entstehung der Kalkincrustationen auf Wasserpflanzen, die in der im Eingange meines Aufsatzes erwähnten Abhandlung des Herrn Dr. Hassack vertreten wird. Der Verfasser sucht ihre Ursache in einer alcalischen Secretion der incrustirten Pflanzen. Wie er annimmt, soll die Fällung des kohlensauren Kalkes aus dem umgebenden Wasser nicht eine Folge der Entziehung der Kohlensäure durch die Assimilation sein, sondern durch ein kohlensaures Alcali bewirkt werden, welches von den betreffenden Pflanzen ausgeschieden wird.

Wenn mir auch zur Zeit keine genügenden eigenen Erfahrungen über die Bedingungen zu Gebote stehen, unter welchen die alcalischen Reactionen eintreten, die der Verfasser beobachtet hat und im obigen Sinne deutet, so möchte ich mir doch einige Bedenken gestatten,

die sich schon aus meinen eigenen Untersuchungen über den Gegenstand ergeben. Zuvor sei beiläufig nur erwähnt, dass der Verfasser seine Versuche mit der nicht zutreffenden Bemerkung einleitet, dass vor den seinigen noch keinerlei Versuche über die Beziehung der Assimilation zur Entstehung der Kalkniederschläge angestellt seien. Dem gegenüber verweise ich darauf, dass ich über die von mir hierüber ausgeführten und besprochenen Versuche schon 1881 berichtet[1]) und mich noch im vorigen Jahre auf dieselben, als auf eine brauchbare Methode zum Nachweis der Assimilation an mikroskopischen Objecten berufen habe.[2])

Zur Sache selbst scheint nun die Annahme des Verfassers dahin zu gehen, dass die alcalische Secretion bei einigen, bei den sich incrustirenden Pflanzen eintritt, bei den anderen nicht. So würden sich wohl einige Schwierigkeiten heben lassen, die dem Verfasser bei der Erklärung der Kalkniederschläge gewiss vorgeschwebt haben. Es würde sich z. B. die Thatsache erklären, warum an derselben kalkhaltigen Localität Pflanzen mit und Pflanzen ohne Incrustation vorkommen. Doch hierauf allein beschränken sich keineswegs jene auffallenden Verschiedenheiten, die in dem Auftreten der Kalkniederschläge zur Beobachtung kommen und eine Aufklärung verlangen.

In meinen Versuchen sah ich in neutralen Lösungen von kohlensaurem Kalk, unter den beschriebenen Vorsichtsmaassregeln, niemals, auch im Lichte nicht, Kalkniederschläge auf den Versuchsobjecten sich bilden. Es wäre aber doch auch hier zu erwarten, dass das ausgeschiedene Alcali, dessen Hinzutritt die Löslichkeit des kohlensauren Kalkes verringert, wenigstens in gewissen Fällen ein Ausfallen desselben bewirken müsste. Wie soll man aber unter diesem Gesichtspunkte die von mir im Vorhergehenden geschilderten, localen Begünstigungen der Niederschlagsbildung erklären, die an demselben Standorte an verschiedenen Stellen, Organen und Zellen derselben Pflanze auftreten? Darf man annehmen, dass die eine Zelle ein Alcali ausscheidet, die benachbarte gleichwerthige Zelle derselben Pflanze unter den gleichen Umständen nicht? oder dass jüngere und etwas ältere Zellen sich hierin unterscheiden? Kann man dies endlich

---

1) a. a. O. Monatsberichte 1881, p. 524 (23) und 525 (24).

2) a. a. O. Berichte d. D. B. G. 1887, p. 297.

sogar für verschiedene Stellen derselben Pflanze festhalten? Man würde offenbar in allen diesen Fällen genöthigt sein, so wie ich dies für die Entziehung der Kohlensäure durch die Assimilation that, auch hier verschiedene Grade in der Ausgiebigkeit der alcalischen Secretion zu Hülfe zu nehmen.

Herr Dr. Hassak findet nun, in diesem Punkte in Uebereinstimmung mit mir, dass die Kalkniederschläge sich auf den Pflanzen nur im Lichte erzeugen. Er nimmt an nur in directem Sonnenlichte, ich kann nach meinen Versuchen behaupten, dass es auch im diffusen Tageslichte geschieht; in den meisten meiner Versuche, in welchen sie entstanden, war das directe Sonnenlicht ausgeschlossen. Für die Erklärung der Kalkniederschläge durch die alcalische Secretion ist daher, wie dies auch in völlig consequenter Weise vom Verfasser geschieht, die Annahme nothwendig, dass die alcalische Secretion nur im Lichte erfolgt, und zwar genau unter den gleichen Umständen, wie die Assimilation und mit dieser zusammenfallend. Die alcalische Secretion würde hiernach als eine directe Wirkung der Assimilation erscheinen und mit der Grösse derselben genau steigen und fallen.

Das Verständniss der localen Begünstigungen der Kalkniederschläge, welches ich durch den Hinweis auf die relative Grösse der Assimilationsenergie und ihr Verhältniss zum Kalkgehalt der Gewässer zu gewinnen suchte, würde daher in ähnlicher Weise auch durch die supponirte alcalische Secretion gewonnen werden können, wenn man dieselbe als Ursache der Niederschläge gelten lässt, und sie selbst zugleich als eine Assimilationswirkung betrachtet. Die Kalkniederschläge entstehen in der That, wie ich dies angenommen habe, und wie auch aus den Versuchen von Dr. Hassak folgt, dort, wo eine relativ starke Assimilation wirksam ist. Dass unter diesen Umständen der Flüssigkeit, welche die Pflanzen zunächst umgiebt, Kohlensäure entzogen wird, steht fest und ist eine allbekannte und unzweifelbare Thatsache. Die Entziehung der Kohlensäure muss daher unbedingt und in jedem Falle bei der Hervorrufung des Niederschlages von Einfluss sein. Sie allein genügt sogar, wie aus meiner obigen Darstellung erhellt, zum Verständniss der Erscheinung. Die supponirte alcalische Secretion führt dagegen, wie wir sahen, selbst wieder erst auf die Assimilation zurück und er-

scheint thatsächlich weder bezüglich ihrer Natur noch der Bedingungen, unter denen sie auftritt, genügend aufgeklärt. Von vornherein darf man es sogar kaum als wahrscheinlich bezeichnen, dass mit der Assimilation constant eine alcalische Secretion aus der assimilirenden Zelle verbunden sein sollte.

Wie man aber auch trotz alledem die Sache auffassen will, soviel steht sicher fest, dass die Bildung eines Kalkniederschlages unter den von mir bezeichneten Versuchsbedingungen, wie ich dies in meinem Aufsatze von 1881 angegeben habe, ein sicheres Merkmal vorhandener Assimilation und Kohlensäure-Aufnahme bleibt.

Inhalt

des vorliegenden 1. Heftes, Band XIX.

Fig. 1.

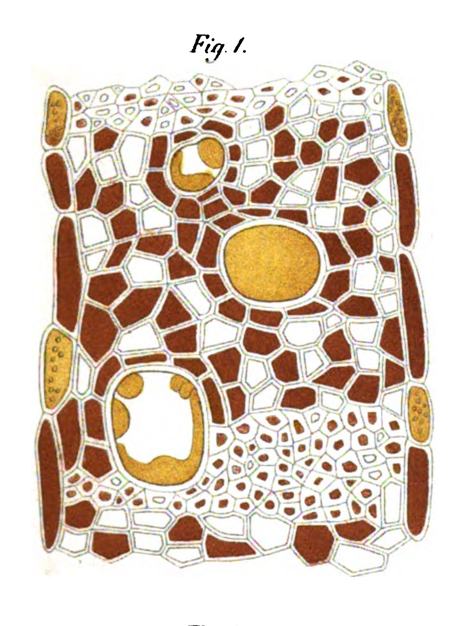


Fig. 2.

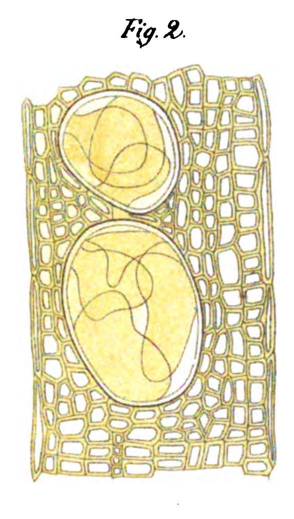


Fig. 4.

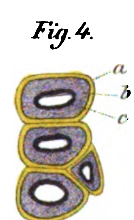


Fig. 5.

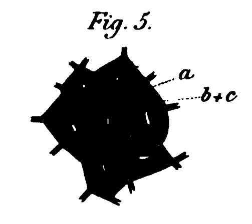
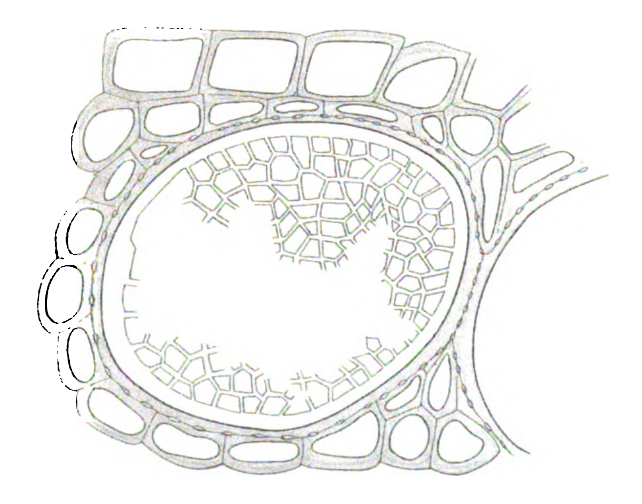


Fig. 3.



E. Praël del. C. Laue lith.

1.

2.



C. Laue lith.

Inhalt des vorliegenden 1. Heftes, Band XIX.

Correspondenten und Einsendern von Manuscripten zur gefälligen Kenntnissnahme, dass meine gegenwärtige Adresse ist:

Berlin W. Königin-Augustastrasse 49.

Im März 1887.

Pringsheim.

Druck von G. Bernstein in Berlin.

JAHRBÜCHER

für

wissenschaftliche Botanik.

Herausgegeben

von

Dr. N. Pringsheim.

Neunzehnter Band. Zweites Heft.
Mit 4 lithographirten Tafeln.

Berlin, 1888.
Verlag von Gebrüder Borntraeger
Ed. Eggers.

Untersuchungen über Bau und Entwicklung der Orchideenblüthe.

Von

E. Pfitzer.

I. Theil: Cypripedilinae, Ophrydinae, Neottiinae.

Hierzu Tafel III und IV.

Einleitung. Geschichtliches.

Im Laufe meiner Studien über die Orchideenblüthe hat sich allmählich eine ziemlich lange Reihe entwicklungsgeschichtlicher Untersuchungen angehäuft, welche ich zwar in ihren Ergebnissen in meinen bisherigen Veröffentlichungen z. Th. verwerthen konnte[1]), deren vollständige Publication in den letzteren aber schon wegen der nothwendigen sehr zahlreichen Abbildungen nicht möglich war. Ich beginne mit der vorliegenden Abhandlung die Mittheilung meiner Untersuchungen in dieser Richtung und ordne dieselben in derjenigen systematischen Reihenfolge an, welche ich in meiner letzten grösseren Arbeit[2]) als die natürliche zu erweisen bemüht war. Ueber die Entwicklung der Blüthe bei den Neottiinae erscheint hier zunächst nur das auf Epipactis und Cephalanthera Bezügliche, so dass noch eine Anzahl anderer Gattungen in der nächsten Abhandlung zu besprechen sein wird.

1) Pfitzer, Morphologische Studien über die Orchideenblüthe. Festschrift d. naturhist. medicin. Vereins z. Heidelberg. 1886.

2) Entwurf einer natürlichen Anordnung der Orchideen. Heidelberg 1887.

Im Verhältniss zu der sonst so ungemein reichen Literatur der Orchideen ist über deren Blüthenentwicklung auffallend wenig bekannt. Eine vollständige, neueren Ansprüchen genügende Darstellung des ganzen Entwicklungsgangs besitzen wir bisher nur für eine einzige Art, nämlich die von Payer[1]) untersuchte Calanthe veratrifolia R. Br. Sonst liegen vor zunächst einige ältere und dem entsprechend ziemlich unvollkommene Angaben, wie die Studien von Irmisch[2]) über Epipactis (1842), diejenigen von Crüger über Epidendrum bicornutum Hook., Oncidium ampliatum Ldl. und Epistephium sp. (1849), Notizen von H. G. Reichenbach[4]) über Orchis Morio L. (1852), von Irmisch[5]) über Ophrys muscifera Huds., Neottia nidus avis L, Listera ovata R. Br., Epipogon aphyllus Sw. und Cypripedilum Calceolus L. (1853), Bemerkungen, die sich z. Th. auf die Angabe der Zeit beschränken, in welcher die Inflorescenz angelegt wird. Ausführlichere Darstellungen verdanken wir dann namentlich Th. Wolf[6]), welcher 1865 die älteren Entwicklungszustände der Blüthen von Orchis maculata L., O. mascula L., O. Morio L., Listera ovata R. Br., Epipactis latifolia All. beschrieb und über Anacamptis, Ophrys, Platanthera, Epipogon, Epidendrum, Phajus, Cymbidium, Lycaste, Trichopilia, Dendrobium, Eria, Coelia und Cypripedilum wesentlich nur auf die Entstehung der Pollinien und ihrer Anhangsgebilde bezügliche Mittheilungen machte im Anschluss an die Studien in dieser speciellen Richtung, welche H. G. Reichenbach in der genannten Abhandlung 1852 begonnen und die dann Hofmeister[7]) 1861 weiter gefördert hatte. Nach Wolf haben dann noch Crüger (1865)[8]) und

---

1) Organogénie comparée de la fleur 1857, S. 665 T. 142.

2) Ueber die Epipactis-Arten der deutschen Flora. Linnaea Vol. XVI. p. 469.

3) Organographische Betrachtungen über einige Pflanzen aus dem Bereich der Monokotyledoneae epigynae. Linnaea Vol. XXII. p. 494.

4) De pollinis Orchidearum genesi ac structura. Habilit. Schrift. Leipzig 1852.

5) Beiträge zur Biologie und Morphologie der Orchideen. Leipzig 1853.

6) Beiträge zur Entwicklungsgeschichte der Orchideenblüthe. Pringsheim's Jahrbücher. Bd. IV, p. 261.

7) Neue Beiträge zur Kenntniss der Embryobildung der Phanerogamen. Abhandl. d. Sächs. Gesellsch. d. Wissensch. Mathem. physik. Klasse V. p. 645.

8) A few notes on the fecundation of Orchids and their morphology. Journ. Linnean Society. Botany. Vol. VIII, 1865, p 126

Rohrbach[1]) (1866) Beobachtungen über die Entwicklung der Blüthe von Catasetum, Selenipedilum und Epipogon mitgetheilt und hat Hofmeister[2]) 1868 einige allgemeine Bemerkungen gegeben; speciell über die Entstehung des Pollens liegen noch Aufsätze von Engler[3]) (1875) und von Guignard[4]) (1882) vor.

Das ist Alles, was ich über die Entwicklungsgeschichte der Orchideenblüthe finden konnte, im Vergleich zu dem ungeheuren Formenreichthum der Familie gewiss sehr wenig.

Ich wende mich nun zu meinen eigenen Untersuchungen — hinsichtlich der befolgten Methode zur Herstellung von Serienschnitten junger Inflorescenzen und Blüthen verweise ich auf meine kürzlich erschienenen Bemerkungen in dieser Richtung[5]).

A. Diandrae.

I. Cypripedilinae[6]).

Ueber Cypripedilum im engeren Sinne kann ich, da mir hierfür kein Material zur Verfügung stand, keine eigenen Angaben machen. Nach Irmisch[7]) sind bei C. Calceolus L. die jungen Blüthen einschliesslich des Fruchtknotens Anfang September nicht ganz 2 mm lang: „Die kleinen Blüthenblätter stehen mit ihren Spitzen noch von einander, haben sich jedoch schon soweit über die Befruchtungstheile zusammengeneigt, dass diese nur nach Entfernung der Perigontheile völlig sichtbar werden. Das Labellum stellt eine fast ganz

---

1) Ueber den Blüthenbau und die Befruchtung von Epipogium Gmelini. Göttinger Preisschrift 1886.

2) Allgemeine Morphologie der Gewächse. p. 506, 615.

3) Beiträge zur Antherenbildung der Metaspermen. Pringsheim's Jahrb. Bd. X. p. 291.

4) Recherches sur le développement de l'anthère et du pollen des Orchidées. Annal. sc. natur. Botanique, 6 Sér. T. XIV. p. 26.

5) Ueber eine Einbettungsmethode für entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen. Ber. d. deutsch. botan. Gesellsch. Bd. V. 1887, p. LXV.

6) Ueber die Schreibweise vgl. Pfitzer, Anordnung der Orchideen, p. 11.

7) Beiträge u. s. w. p. 42.

flache, nur durch einen etwas grösseren Umfang sich vor den anderen Blüthenblättern auszeichnende Schuppe dar. Die aufrecht stehenden Antheren überragen als breite fleischige auf der Aussenseite leicht gewölbte, auf der Innenseite in der Mitte nur ganz leicht vertiefte Schuppen das ovale Staminodium, mit dem sie in gleicher Höhe auf dem Blüthenboden eingefügt sind. Die nach dem Staminodium hin stehende Antherenhälfte ist ein wenig höher, als die nach dem Labell zu gekehrte; unten nach ihrem Ansatz zu verschmälern sich die Antheren ganz wenig. Die drei Griffelblätter erscheinen um diese Zeit als getrennte niedrige kegelförmige Spitzen, von denen die hintere, dem Staminodium zugekehrte, umfangreicher und höher ist, als die beiden anderen. Die Antheren stehen deutlich vor der Spalte zwischen dem unpaaren und je dem einen paarigen kleineren Theile des Griffels. Vor dem Spalte zwischen den beiden letzteren findet sich ein mit der Basis der Antheren in Verbindung stehender Wulst, als hätte sich auch hier eine Anthere bilden wollen. Nach einiger Zeit (gegen Mitte des September) sind die Antheren in allen Theilen deutlicher ausgebildet und erscheinen von einem ganz niedrigen Stiel getragen; auf dessen Rücken bildet sich auf der nach dem Staminodium zu, das jetzt dieselbe Höhe erreicht hat, wie die Antheren, oft aber auch kürzer als diese geblieben ist, gelegenen Seite ein Höcker, der dann erst später — Ende December ist Alles noch wenig verändert — auswächst und dadurch die ursprünglich senkrechte Stellung der Anthere in eine nach dem Labell zu geneigte verwandelt und endlich die Anthere überragt. Der Griffel ist um jene Zeit schon so hoch oder selbst höher als die Anthere und hat im Wesentlichen die bleibende Gestalt erreicht, so auch das Labellum. Die Grundtheile des Griffels, überhaupt des Gynostemiums, verwachsen eigentlich nicht, sondern werden gleich im Ganzen aus dem Blüthenboden herausgeschoben, wie es auch bei den paarigen äusseren Perigontheilen ist, deren Spitzen allein ursprünglich frei sind, während die unteren Partieen gleich verschmolzen hervorwachsen".

Diese Entwicklungsgeschichte genügt im Wesentlichen, um unsere jetzige morphologische Deutung der Blüthe von Cypripedilum von dieser Seite her zu begründen. Es werden demnach die später einheitlich erscheinenden paarigen Sepalen getrennt angelegt — bei C. arietinum L. bleiben sie bekanntlich dauernd getrennt. Vom äusseren

Staminalkreis wird nur das unpaare Glied (A_1 nach Darwin's[1]) Bezeichnung) als Staminodium entwickelt, von den paarigen A_2 und A_3 ist nichts nachzuweisen. Dass die normal fertilen Staubblätter die paarigen Glieder des inneren Kreises sind (a_1 a_2), folgt mit Sicherheit aus der Stellung ihrer jungen Anlagen zu den drei Carpellspitzen — interessant ist, dass das unpaare Glied desselben Kreises (a_3) wenigstens als Wulst zur Ausbildung gelangt.

Die Angaben von Wolf[3]) über die Blüthenentwicklung von C. Calceolus beziehen sich nur auf das Aussehen der Knospe im März, wo die Blüthe nahezu fertig ist.

Ueber Selenipedilum palmifolium Rchb. f. gab Crüger[2]) eine Zeichnung der Säule aus einer jungen Knospe: die drei Carpellspitzen erscheinen noch als fast gleich grosse, niedrige Höcker, überragt von den viel weiter entwickelten drei Staminalanlagen. Das spätere Staminodium steht unmittelbar hinter dem unpaaren Carpell, die später fruchtbaren Staubblätter sind deutlich zwischen diesem und je einem der paarigen Carpelle inserirt. Es ist demnach auch für diese Gattung nicht zweifelhaft, dass das erstere A_1, die letzteren a_1 und a_2 entsprechen, wie bei Cypripedilum.

Was die dritte Gattung Paphiopedilum Pfitz. betrifft, so hat zwar Wolf[3]) angegeben, dass sich die Blüthen von P. barbatum (Ldl.) und P. insigne (Wall.) ähnlich entwickeln, wie diejenigen von Cypripedilum Calceolus. Da aber Wolf diese letzteren überhaupt nur in sehr weit vorgeschrittenem Stadium sah, so hat diese Bemerkung wenig Bedeutung. Ich habe desshalb die genannten Arten, sowie P. longifolium (Rchb. f.) genauer untersucht.

Am geeignetsten erwies sich die letztere Species, weil sie eine vielblüthige Traube bildet, deren Blumen, da jede einzelne mehrere Wochen frisch bleibt und immer nur eine geöffnet ist, sich in grossen Zwischenräumen entwickeln, so dass eine Inflorescenz, welche am Grunde schon mehrere abgeblühte, nach Abwerfung des Perigons stehen bleibende Fruchtknoten zeigt, an der Spitze noch junge Anlagen in den verschiedensten Entwicklungsstadien besitzt. Einen sehr jungen Knospenlängsschnitt stellt Fig. 1 Taf. III. dar. Das un-

1) Fertilisation of Orchids. 2. Edit. p. 236.
2) Notes u. s. w. p. 134, Taf. 9, Fig. 16, 17.
3) a. a. O. p. 291.

paare Sepalum Sm ist viel kräftiger entwickelt, als das gegenüber stehende, aus den beiden paarigen combinirte Blättchen S, welches aber immerhin noch die nach hinten liegende Anlage eines der paarigen Petalen p überragt. Das Labellum l erscheint einer von S her abfallenden Böschung aufgesetzt, ein Beweis dafür, dass schon jetzt die Blüthenaxe concav, becherartig entwickelt ist. Während hier die Figur die halbe junge Blüthe darstellt, entsprechen Figur 2 und 3 zwei successiven Längsschnitten durch eine, etwas ältere, etwa millimeterlange Knospe. Der eine, Fig. 2, ist genau median geführt, er zeigt die jetzt zusammenschliessenden und nahezu gleich lang gewordenen Sepalen Sm und S, das Labellum l und das gegenüber liegende kurze Staminodium A_1, unterhalb dessen an der Böschung der nun schon stark entwickelten Axenhöhlung eine breite Anschwellung g_1 die Spitze des unpaaren Carpells andeutet. Die schwache Erhöhung auf der anderen Seite, unterhalb des Labellums, kann allenfalls als eine Anlage des unpaaren inneren Staubblatts a_3 gedeutet werden, doch auch eben so gut zur Axe gehören. Fig. 3 giebt die hinter dem eben besprochenen Medianschnitt liegende Längsscheibe: in derselben erscheint ganz hinten das stark herangewachsene Petalum p, dann eines der fruchtbaren Staubblätter a_2 — eine recht deutliche Erhebung rechts, also zwischen Lippe und Petalum entspricht einer der paarigen Carpellspitzen g_3. Da die Staminalanlage a_2 unmittelbar vor einem Petalum liegt, so kann sie nur dem inneren Staubblattkreise angehören. Etwa demselben Entwicklungsstadium entsprechen die beiden unmittelbar auf einander folgenden Querschnitte Fig. 4 und 5. Der erstere, in höherer Ebene geführte enthält die Sepalen, Petalen und das sich in die Schnittebene vorwölbende Labellum — der zweite, nächst tiefere zeigt die drei Staminalanlagen. Sehr instructiv sind ferner die beiden ebenfalls successiven, bedeutend älteren Knospenquerschnitte Fig. 6 und 7. Der erstere zeigt die Petalen p vor den Commissuren der beiden sehr ungleich breiten Sepalen Sm und S, vor der Mitte des letzteren, welches je aus den beiden paarigen Gliedern des äussersten Perigonkreises verwachsen ist, liegt das von den Petalen umfasste, sehr stark concave Labellum l, ihm gegenüber vor der Mediane des unpaaren Sepalums die durchschnittene Spitze des Staminodiums A_1. Der übrige Raum der Knospe wird fast ganz ausgefüllt von den

beiden jungen Staubbeuteln a_1 a_2, deren Mittellinie noch immer ziemlich deutlich vor derjenigen der paarigen Petalen liegt. Fig. 7 lässt diese letzteren und die Sepalen ungefähr in derselben Weise sehen — das Labellum ist an seiner dickeren, minder concaven Basis getroffen, das Staminodium A_1 erscheint sehr gross, die jungen Filamente der fruchtbaren Staubblätter a_1 a_2 liegen sehr genau vor den Medianen der Petalen und gleichzeitig vor den Commissuren der unpaaren Carpellspitze g_1 mit den paarigen g_2 g_3. Von weiteren Staubblattanlagen ist nichts nachweisbar. Eine erheblich ältere Knospe ist dann halbirt in Fig. 8 dargestellt. Das hinten liegende Petalum p hat die Länge der Sepalen erreicht, die schon sehr stark concave Lippe erst etwa die Hälfte dieser Länge und überragt nur wenig das stark verbreiterte Staminodium A_1. Das Staubblatt hat ein deutliches, noch durchaus gerades Filament, zwei Spitzchen auf dem Scheitel und deutlich sich hervorwölbende Pollenfächer; das Filament ist verdeckt durch die noch ganz geraden Carpellspitzen, von welchen die unpaare die anderen beiden überragt. In Fig. 9 ist für ein analoges Stadium der Blüthe von P. barbatum eine Ansicht von oben her gegeben — die Pollenfächer liegen hier, wenn man den Staubbeutel von innen her betrachtet, fast hinter einander.

Erst verhältnissmässig spät beginnt dann die Umkrümmung der Antheren, welche an der fertigen Blüthe soweit geht, dass dieselben mit dem Filament einen rechten Winkel bilden (Fig. 11, 12 von P. longifolium) und gleichzeitig ihre breite Fläche dem blattartigen Staminodium A_1 parallel stellen. Fig. 10 (P. insigne) zeigt den Beginn der Ueberbeugung nach der labioscopen Seite. Eine eigentliche Säule ist, wie aus Fig. 12, 13 (P. longifolium) hervorgeht, nur in geringem Grade entwickelt, insoweit nur ein kurzer gemeinsamer Träger der Staminal- und Carpellbildungen vorhanden ist. Das von Anfang an geförderte unpaare Carpell ist auch schliesslich erheblich länger, als die beiden anderen (Fig. 11, 12). Die Fächerung des Fruchtknotens ist eine späte Erscheinung — wenn die Staubblätter sich krümmen, ist sie noch nicht vollendet.

Wenn die meisten Paphiopedilum-Arten auch in der Regel nur eine einzige Blüthe ausbilden, so fand ich doch sowohl bei P. insigne als bei P. barbatum noch eine zweite Blüthe soweit angelegt, dass die Perigonblätter zu erkennen waren und darüber erst die Axen-

spitze. Es darf also die einzige vollkommene Blüthe niemals als terminal bezeichnet werden, wie das vielfach noch immer geschieht. Gelegentlich kommt übrigens auch die zweite Blüthe zur völligen Entwicklung [1]).

Nach den mitgetheilten Untersuchungsergebnissen kann es nicht zweifelhaft sein, dass für alle drei Gattungen der Cypripedilinae das in neuerer Zeit allgemein gegebene Diagramm das richtige ist, während die alte Hypothese von Link [2]), wonach Staminodium und beide Stamina nur ein Staubblatt mit starker Connectivwucherung sein sollten, völlig widerlegt ist. Ebenso ergiebt sich kein Anhaltspunkt für die Annahme, dass stets noch das dritte Glied des inneren Staminalkreises angelegt werde — dasselbe ist bisher nur für Cypripedilum Calceolus von Irmisch angegeben — und ebensowenig stimmt der entwicklungsgeschichtliche Befund mit der Vorstellung überein, wonach das Labellum aus dem unpaaren Petalum (Mesopetalum) und den beiden benachbarten Gliedern des äusseren Staminalkreises verwachsen sein sollte — vielmehr sind diese letzteren völlig unterdrückt.

Wenn ich auch nicht zu denjenigen gehöre, welche glauben, morphologische Fragen wesentlich durch das Studium von Monstrositäten entscheiden zu können, so ist es doch vielleicht zweckmässig, hier einige Bemerkungen über solche Missbildungen beizufügen, welche diagrammatisches Interesse bieten.

Wir wollen beginnen mit zweizähligen Cypripedilinen-Blüthen, weil sie die einfachsten Verhältnisse darbieten. Die beiden Sepalen sind dann entweder frei oder mit ihren labioskopen Rändern mehr oder weniger verwachsen — sie stehen, wie bei den typisch dimeren Monokotylenblüthen (Majanthemum, Roxburghia, Gymnostachys) rechts und links; geht die Verwachsung weit, so entsteht anscheinend ein einziges abwärts gewandtes Sepalum. Es ist ein Irrthum, wenn Masters [3]) und Le Marchant Moore [4]) in solchen Fällen das hintere

1) v. Freyhold, Verhandl. d. botan. Vereins f. d. Prov. Brandenburg. 1877, p. 9.

2) Bemerkungen über den Bau der Orchideen etc. Botan. Ztg. 1849, p. 748.

3) On the floral conformation of the genus Cypripedium. Journ. Linn. Soc. Botany. Vol. XXII. 1887, p. 402.

4) On a monandrous Cypripedium. Journ. of Botany. XVII. 1879, p. 1.

Sepalum als ausgefallen betrachten; nach dem dimeren Grundplan kann gar kein medianes Sepalum vorhanden sein. Dann folgt in der Regel ein in der geöffneten Blüthe aufwärts gerichtetes Petalum und eine ihm gegenüber stehende Lippe — gelegentlich, bei mehr pelorischer Entwicklung ist auch letztere dem Petalum gleich gestaltet, wie das Asa Gray[1]) bei C. candidum Mühlbg., Morren[2]) an P. insigne beobachtete. Dann folgt im Diagramm rechts und links der äussere (A_1 A_2), in medianer Stellung der innere Staminalkreis (a_1 a_2); die Carpelle und Narbenlappen fallen nach rechts und links (Fig. 14). Hinsichtlich der Ausbildung der Staubblattkreise sind nun folgende Fälle constatirt worden:

1) A_1 und A_2 staminodial, a_1 und a_2 fruchtbar (C. candidum nach Asa Gray (a. a. O., Sepalen getrennt, zwei gleiche Petala).
2) A_1 und A_2 staminodial, a_1 fruchtbar, a_2 unterdrückt (P. venustum (Wall.) und insigne nach Magnus[3]), P. Lawrenceanum (Rhb. f.) nach Masters, mit freien Sepalen, Petalum und Lippe verschieden.
3) A_1 fertil, A_2 staminodial, a_1 und a_2 unterdrückt (P. barbatum nach Magnus) mit verwachsenen Sepalen, Petalum und Lippe verschieden.
4) A_1 und A_2 fertil, a_1 fruchtbar, a_2 unterdrückt (P. barbatum nach Magnus, A. Lawrenceanum nach Masters, im Uebrigen wie die vorigen.
5) A_1 und A_2, sowie a_2 unterdrückt, a_1 fertil (P. Sedeni (longifolium × Schlimii (Rchb. f.) nach Le Marchant Moore, Magnus und Kesterton[4]), P. barbatum nach Masters, erstere mit freien, letzteres mit verwachsenen Sepalen; Petalum und Lippe bei allen verschieden.

Es kommen also fast alle Fälle vor. Es sei dabei noch betont, dass Masters das vor dem Petalum stehende mediane Staubblatt

1) Journal of Botan. Vol. IV. 1886, p. 378.
2) Lobelia, p. 55 (nach Magnus citirt).
3) Ueber monströse Cypripedien. Abhandl. d. botan. Vereins f. d. Provinz Brandenburg XXII. p. 7, 97 und Sitzungsber. d. Gesellsch. naturforsch. Freunde z. Berlin 18. Juni 1878, 21. Juli 1885.
4) Gardeners Chronicle 1883. I. p. 16, 114.

der dimeren Blüthen als A_1 bezeichnet, wohl weil in den dreizähligen A_1 median und oben steht — ein Blick auf das Diagramm Fig. 14 zeigt aber sofort, dass die medianen Staubblätter hier dem inneren Kreise angehören.

An dreizähligen Blüthen wurden folgende bemerkenswerthe Abweichungen beobachtet:

1) A_1 staminodial, A_2 A_3 unterdrückt, a_1 a_2 und a_3 fruchtbar, so bei petaloid entwickelter Lippe von Masters bei P. Sedeni und P. caudatum (Ldl.). Regelmässig ist diese Structur bei der als Uropedilum Lindeni Ldl. bekannten Form (vgl. unten).
2) A_1 A_2 und A_3 unterdrückt, a_1 a_2 und a_3 fruchtbar, so bei normaler Lippe bei P. Spicerianum (Rchb. f.) nach Masters.
3) A_1 staminodial, a_1 a_2 fruchtbar, a_3 als ein in das normale eingeschobenes Labellum entwickelt: so nach Masters bei P. Lawrenceanum.
4) A_1 und a_3 fruchtbar, A_2 A_3 und a_1 a_2 in Form kleinerer Labellen entwickelt, eigentliche Lippe normal: P. Sedeni nach Masters.
5) A_1 a_1 a_2 petaloid, a_3 lippenförmig, A_2 A_3 unterdrückt: so bei normaler Lippe und nur einem petaloiden Stigmalappen (g_1) bei einer nicht genauer bezeichneten Art nach Masters.
6) Andröceum normal, alle drei inneren Perigonblätter als flache, fast gleiche Petalen entwickelt: P. caudatum nach Reichenbach[1]).
7) Andröceum normal, alle drei inneren Perigonblätter lippenförmig: bei verschiedenen Arten nach Masters nicht selten.

Alle mitgetheilten Abweichungen lassen sich ohne Schwierigkeit auf das jetzt allgemein angenommene Diagramm der Cypripedilinen-Blüthe zurückzuführen. Auf die diagrammatisch unwichtigen, auf Dédoublement u. s. w. beruhenden Monstrositäten einzugehen, ist wohl nicht nothwendig. Eine ganz lehrreiche, scheinbar dimere Blüthe hat v. Freyhold[2]) beschrieben.

---

1) Monstrositäten von Cypripedium venustum. Verhandl. d. botan. Vereins f. d. Prov. Brandenburg 1876, 24. Nov.

2) Beiträge zur Orchideenkunde. Nov. Act. Academ. Leop. Carol. Vol. XXXV. 1869, p. 1.

Dagegen seien noch angeschlossen einige Bemerkungen über die Gattungsbegrenzung der Cypripedilinen. Ich habe unterschieden 1) Cypripedilum L. 2) Selenipedilum Rchb. f. 3) Paphiopedilum Pfitz. Die Differenzen sind die folgenden: Erstens ist die Knospenlage der Laubblätter bei den beiden erstgenannten convolutiv, bei Paphiopedilum duplicativ. Mir scheint das wichtig, weil einmal dieses Merkmal, wie ich mich z. B. eben noch an Keimpflanzen von Bletilla hyacinthina Rchb. f. überzeugen konnte, schon am ersten Laubblatt, welches die Pflanze überhaupt bildet, hervortritt und weil ja auch die monandrischen Orchideen mit terminaler Inflorescenz sich in eine Hauptgruppe mit convolutiver und eine mit duplicativer Knospenlage sondern lassen. Zweitens ist der Fruchtknoten von Cypripedilum einfächerig und läuft mit einem ungetheilten dreiseitigen Canal aus (C. Calceolus und C. spectabile nach Magnus), bei Selenipedilum ist er fast apocarpisch dreifächerig, indem die drei Fächer nur in einem schmalen Mittelcylinder zusammenhängen, bei Paphiopedilum zeigt er Uebergänge vom einfächerigen zum dreifächrigen Bau. Wo aber auch der erste vorhanden ist, läuft die Höhlung noch mit drei getrennten Kanälen in die Säule aus (P. barbatum, P. venustum, P. insigne, P. Sedeni nach Magnus[1]).

Weiter ist Selenipedilum durch die nach Vanille riechenden Früchte und „semina Vanillae“ ausgezeichnet. Endlich fiel mir auf, dass wenigstens bei P. longifolium (Rchb. f.), P. javanicum (Bl.), P. insigne (Wall.), P. barbatum (Wall.) das ganze Perigon abfällt, während ich dies bei Cypripedilum nirgends angegeben finde und während doch diese Erscheinung im Allgemeinen bei den Orchideen äusserst selten ist. Uropedilum betrachte ich, nachdem pelorische Missbildungen von P. caudatum jetzt auch das dritte Staubblatt gezeigt haben, nicht mehr als selbstständige Gattung.

---

1) Ueber den eigenthümlichen Bau des Fruchtknotens einiger Cypripedien Sitzungsber. d. botan. Vereins der Prov. Brandenburg. Bd. XXI. p. 7.

B. Monandrae Basitonae.

II. Ophrydinae.

Die Anlage der Blüthen unserer einheimischen Ophrydinae geschieht bereits im Herbst, wenn die oberirdischen Organe desselben Jahres abgestorben und die Knollen desshalb schwer zu finden sind. Diese Thatsache wurde schon 1852 von H. G. Reichenbach[1]) bei Orchis Morio festgestellt — derselbe fand im November bis auf die „pars stigmatica" und den Sporn alle wesentlichen Organe angelegt — dasselbe giebt Irmisch[2]) bei Orchis Morio, Ophrys muscifera u. A. schon für September und October an. Um die eigentliche Entstehung der Blüthe zu verfolgen, ist es also nöthig, Pflanzen in Töpfen zu cultiviren, so dass die Knollen jederzeit untersucht werden können. Wenn man, wie Hofmeister[3]) und Wolf[4]), die Beobachtungen erst im Frühjahr beginnt, lassen sich nur die spätesten Stadien studiren: über die früheren fehlt hinsichtlich der ganzen grossen Gruppe der Ophrydinae bis jetzt noch jede Kenntniss.

Meine Untersuchungen beziehen sich wesentlich auf Orchis Morio. Dieselbe treibt schon im September; Anfang October besitzt sie bereits eine Rosette centimeterlanger grüner Laubblätter auf der in demselben Jahre entstandenen Knolle und die Inflorescenz ist soweit entwickelt, dass an ihrer Spitze noch neue Blüthen entstehen, während die untersten schon alle Phyllome angelegt haben. Die nach der Hauptaxe hin stehenden paarigen Sepalen werden zuerst sichtbar, dann folgt das unpaare, darauf das Labellum, endlich erscheinen die paarigen Petalen — Fig. 15 Taf. III giebt eine Ansicht der jungen Blüthe in diesem Stadium. Ziemlich gleichzeitig mit den Petalen erscheint das einzige später fruchtbare Staubblatt, welches die ersteren rasch an Umfang übertrifft, während auch die paarigen Sepalen dem unpaaren im Wachsthum voraneilen; die Längsansicht einer ganzen durchsichtig gemachten Knospe (Fig. 16) zeigt uns dem entsprechend die paarigen Sepalen S_1 am längsten entwickelt; dann

1) De pollinis Orchidearum genesi, p. 7.
2) Beiträge, p. 13.
3) a. a. O.
4) a. a. O., p. 263 ff.

folgt der Länge nach das hinten liegende unpaare Sepalum *Sm*, dann die nahezu sich mit der Anthere deckende Lippe l; am kleinsten sind die beiden Petalen p. Der Querschnitt einer etwas älteren Blüthenanlage lässt die in Fig. 17 dargestellten Verhältnisse erkennen. Die Sepalen, von welchen das vordere *Sm* das breiteste ist, decken sich noch nicht; die Petalen sind erheblich kleiner als die Lippe l, welche wieder an Umfang weit hinter der Staubblattanlage A_1 zurückbleibt. Rechts und links vom Labellum sind zwei sehr unbedeutende Höcker zu erkennen, welche als Anfänge der beiden paarigen Staubblätter des äusseren Kreises A_2 A_3 gedeutet werden müssen, da sie fast genau vor den Mittellinien der paarigen Sepalen liegen. Ein Längsschnitt in diesem Stadium (Fig. 18) zeigt nun auch die Fruchtknotenhöhle angelegt — die paarigen Sepalen überragen noch weit das unpaare, das später fruchtbare Staubblatt ist auch in der Längsstreckung der Lippe vorangeeilt. Unter demselben wird ein schwacher Wulst (g_1) sichtbar, die Anlage des späteren Rostellums. Die Abbildungen Fig. 19 und 20 geben den Querschnitt etwas älterer Knospen. Der Fig. 19 dargestellte Schnitt ist etwa durch die Mitte der Anthere gegangen, welche deutlich längsgefurcht erscheint; die Sepalen beginnen sich zu decken. Der Schnitt Fig. 20 ist tiefer geführt, er zeigt die schmäleren Basaltheile der Sepalen, den Beginn der Deckung der Lippe durch die Petalen, die nicht wesentlich vorgeschrittenen Staubblattrudimente A_2 A_3 und die vierlappig gewordene grosse Anthere A_1. Der Eingang in die Fruchtknotenhöhlung erscheint als eine schmal sichelförmige (dunkel gehaltene) Spalte, deren Begrenzung nach der Anthere hin von dem sehr stark vorspringenden jungen Rostellum g_1 gebildet wird, welches wieder von den beiden mittleren Antherenlappen überdeckt wird, während seine Spitze sich zwischen dieselben einschiebt.

Der Längsschnitt durch eine etwas jüngere Knospe Fig. 21 lässt bereits das Uebereinandergreifen der Sepalen an der Knospenspitze wahrnehmen: die paarigen sind die deckenden; die Anthere ist in ihrer schmalen Mittellinie (vgl. Fig. 19) getroffen, das Rostellum stark vergrössert (g_1). Noch weiter vorgeschrittenen Stadien entsprechen die durch die Fruchtknotenhöhlung geführten Querschnitte Fig. 22, 23: der erstere zeigt die drei Carpellspitzen g_1 g_2 g_3, von

welchen die Rostellum-Anlage g_1 bei weitem die grösste ist; dazwischen beginnen die Placenten hervorzusprossen. Der tiefere Querschnitt Fig. 23 zeigt wesentlich diese letzteren, welche an der Innenwandung der Fruchtknotenhöhlung herablaufen, während von den Carpellen hier nichts zu sehen ist.

Vollständig klar wird die Bedeutung sämmtlicher Organanlagen ein wenig später, etwa in dem Stadium, welches Taf. IV, Fig. 1 von O. latifolia L. darstellt. In den beiden Perigonkreisen ist keine wesentliche Veränderung zu bemerken — die Anthere ist tief durchschnitten: die beiden schmalen nach der Lippe (l) hin vorgestreckten Lappen werden später die Caudiculae bilden, bestehen aber noch aus ganz gleichförmigem, meristematischen Gewebe. Viel stärker entwickelt haben sich dagegen die mit A_2 und A_3 bezeichneten Gebilde, welche in Taf. III, Fig. 17 zuerst als schwache Höcker erschienen — es wird allmählich deutlich, dass sie den bekannten Oehrchen rechts und links vom fruchtbaren Staubblatt der fertigen Blüthe entsprechen. Das Rostellum (g_1) hat inzwischen einen soliden Fortsatz zwischen die beiden Antherenfächer eingeschoben; bei tieferer Einstellung erkennt man, dass es sich auch seitlich weiter ausgebreitet hat und die abwärts gewandten Spitzen der beiden Staubbeutelfächer zu umfassen beginnt.

Was die Ausgestaltung der Perigonblätter betrifft, so erscheint das Labellum bei O. latifolia, Anacamptis pyramidalis erst an millimeterlangen Knospen dreilappig, und noch später wird der Sporn bei etwa 3—4 mm Knospenlänge zwischen den paarigen Sepalen hervorgeschoben. Bei den Orchis-Arten mit sehr vielblüthigen Inflorescenzen sind die obersten Blumen oft noch anscheinend spornlos, wenn die untersten sich bereits geöffnet haben. Macht man Längsschnitte, so kann man freilich die Spornanlage schon an Knospen von $1^1/_2$—2 mm Länge nachweisen — sie erscheint als flache Vortreibung der Lippenbasis, ohne dass hier Grund zu der Annahme vorläge, dass die Axe an der Entstehung des Sporns betheiligt sei; ich würde also den letzteren bei Orchis u. s. w. zu den „reinen Blattspornen“ [1] rechnen. Ganz später Entstehung sind endlich die beiden fleischigen Leisten auf dem Labellum von Anacamptis.

1) Vgl. Pfitzer, Orchideenblüthe, p. 52.

Die Deckung der Perigonblätter der Ophrydinae ist, soweit solche überhaupt vorhanden ist, derartig, dass überall die paarigen Glieder jedes Kreises das unpaare decken. Doch berühren sich die Sepalen meistens nur oben mit den Rändern und auch bei dem inneren Kreis findet bei sehr schmaler Form seiner Blätter keine Deckung statt, wie z. B. bei Platanthera bifolia. Die Lippe umfasst, wo sie Seitenlappen besitzt, mit diesen seitlich die Anthere, während der Mittellappen über diese hingebogen und bisweilen noch von der Seite dütenartig gerollt ist. Wo das Labellum schmal und einfach ist, legt es sich nur der Anthere an. Bei Loroglossum Spr. ist es bekanntlich in dieser Stellung uhrfederartig nach innen eingerollt, bei Comperia C. Koch[1]) sind seine schmalen Zipfel in der Knospe pfropfenzieherartig gewunden.

Hinsichtlich der ferneren Entwicklung der Anthere und des Rostellums von Orchis wäre zunächst hervorzuheben, dass, nachdem die drei Carpellspitzen noch in Fig. 23 Taf. III in einer zur Blüthenaxe senkrechten Ebene ausgebreitet erscheinen, nun durch stärkeres Längenwachsthum der steloscopen Seite des Axenbechers diese Stellung so verändert wird, dass in Fig. 2 Taf. IV diese Ebene nahezu vertical wird: die kleine dreieckige Oeffnung über den paarigen Carpellen g_2 g_3 entspricht der Mündung des Narbencanals. Das Rostellum hat jetzt die Antherenspitzen völlig umfasst: die hinteren Ecken der so gebildeten Taschen sind im Zusammenhang mit den paarigen Carpellspitzen. Eine starke Streckung abwärts schiebt endlich die Rostelltasche und die Antherenspitzen ziemlich weit nach unten.

Ueber die Entstehung der Caudiculae und Retinacula habe ich den Beobachtungen von Wolf nur Weniges hinzuzusetzen. Zunächst erfolgt die Anheftung des Antherenfachs an die Innenseite der Tasche nicht, wie Wolf[2]) meint, durch den Klebstoff, sondern vielmehr dadurch, dass, wie Fig. 3 Taf. IV bei Orchis ustulata zeigt, eine starke Streckung der Oberhautzellen stattfindet, welche die beiden Epidermisschichten zu inniger Berührung und Verwachsung bringt. Das Stück Oberhaut lässt sich noch an den fertigen, herausgenommenen Pollinien leicht nachweisen, namentlich wenn man dieselben mit Kalilauge

1) Reichenbach, die Orchideen der deutschen Flora, p. 27, Taf. 158.

2) a. a. O., p. 270.

behandelt. Ferner tritt aus Wolf's Darstellung nicht genügend deutlich hervor, dass bei der Desorganisation von Zellen in dem Rostellum der tief zwischen die Antherenfächer eingreifende Fortsatz des letzteren abgetrennt wird — er bleibt später stehen, wenn der untere Theil des Rostellums als Bursicula heruntergedrückt wird.

Die Abbildung, welche neuerdings nach Luerssen über die Structur der Anthere und des Rostellums von Orchis militaris veröffentlicht wurde[1]), giebt den ganzen Bau dieser Organe wesentlich unrichtig wieder.

Ueber Platanthera sei noch bemerkt, dass die Querstreckung des Connectivs, welche hier die Anthere so überaus breit erscheinen lässt, eine ganz späte Erscheinung ist: kurz vor dem Aufblühen der Knospe ist dasselbe hufeisenförmig zusammengebogen: in jüngeren Zuständen ist der Radius dieses Bogens so klein, dass die Pollenfächer sich fast seitlich berühren.

In diagrammatischer Hinsicht verändern die vorstehenden Untersuchungen die herrschende Deutung der Blüthe von Orchis u. s. w. nicht unerheblich. Indem ich hinsichtlich der älteren Literatur über diesen Gegenstand auf die Zusammenstellung von Gérard[2]) verweise, erinnere ich daran, dass in neuerer Zeit die Oehrchen rechts und links von der Säule entweder als Rudimente der den fertilen Staubblättern von Cypripedilum entsprechenden paarigen inneren Stamina betrachtet wurden oder als blosse Wucherungen ohne die Dignität besonderer Phyllome galten. Die erstere Ansicht hat namentlich noch Eichler[3]) in seinen Blüthendiagrammen vertreten, die zweite schien mir[4]) bis jetzt, so lange die Entwicklungsgeschichte nicht bekannt war, auf Grund der Beobachtung R. Brown's[5]) wahrscheinlich, dass bei einer Platanthera bifolia mit drei Staubblättern vor den äusseren Perigonabschnitten das mediane beide Oehrchen, die seitlichen wenigstens eines auf ihrer steloscopen Seite besassen. Nur Gérard hat in neuerer Zeit, auch wieder lediglich aus dem Studium von Monstrositäten, den Schluss gezogen, dass die Auriculae

1) Die natürlichen Pflanzenfamilien. Lieferung 13, p. 154, Fig. 110. B.

2) Sur l'homologie et le Diagramme des Orchidées. Ann. sc. nat Bot. 5 Sér. Taf. 8. S. 241.

3) Blüthendiagramme I. p. 180, Fig. 106. A.

4) Orchideenblüthe, p. 132.

5) Miscellaneous botanical works. I. p. 500.

den paarigen äusseren Staubblättern entsprächen — es ist eben das ganze Gebiet dieser Missbildungen überaus vieldeutig. Wolf[1]) hat sich die Frage, welchem Staubblattkreis die Oehrchen entstammen, desshalb gar nicht vorgelegt, weil er überhaupt bei den Orchideen nur einen solchen Kreis annimmt. Jetzt ist die Sache klar — nach der Entwicklungsgeschichte können die Oehrchen nur demselben Kreis zugerechnet werden, wie das mediane Staubblatt; dass sie nachher an dessen Seite, sogar etwa in einer Ebene mit den beiden seitlichen Fächern der Anthere, also anscheinend weit nach hinten gerückt erscheinen, rührt einfach daher, dass die Anthere in der jungen Knospe deren ganzen Innenraum ausfüllt und durch ihr Dickenwachsthum bis zu den Staminodien A_2 A_3 nach der Lippe hin vorrückt. Mit dieser Deutung stimmt überein, dass, wo bisher bei Missbildungen Staubblätter zwischen dem medianen und den seitlichen Sepalen gefunden wurden, stets die Petalen fehlten, so dass diese eben in Stamina umgewandelt waren, während ausserdem einige Fälle bekannt sind, namentlich Pelorien, in denen drei Staubblätter vor den Sepalen vorhanden waren[2]). Auch hat Wolf[3]) bei Orchis mascula einen Fall beschrieben, wo das linke Oehrchen in seiner gewöhnlichen Form, das rechte halbseitig als Anthere ausgebildet war. Den auf den ersten Blick mit unserer jetzigen Auffassung schlecht harmonirenden Fall der oben erwähnten Platanthera bifolia glaube ich jetzt so auffassen zu sollen, dass die hier trotz dreier fertiler Stamina vorhandenen vier Oehrchen den sonst ganz unterdrückten paarigen Staubblättern des inneren Kreises a_1 a_2 entsprachen, welche sich verdoppelt hatten. Eine Neigung zum Dédoublement zeigen auch vielfach die normalen Oehrchen, indem sie als niedrige, zweigipfelige Wülste erscheinen.

Eine zweite wichtige Consequenz der mitgetheilten Beobachtungen ist die Unvereinbarkeit derselben mit Darwin's Hypothese, dass die Lippe aus dem Mesopetalum und den beiden benachbarten Staminodien A_2 A_3 bestehen. Erstens wird das Labellum einheitlich angelegt und seine Dreilappigkeit erst nachträglich deutlich, zweitens sind die Staminodien, welche nach Darwin Theile der Lippe bilden

1) a. a. O., p. 265.
2) Vgl. Gérard a. a. O., p. 241.
3) a. a. O., p. 269, Taf. XVI, Fig. 5.

sollen, frei vorhanden. Wenn ich auch dem Gefässbündelverlauf für die morphologische Deutung nur geringen Werth beilege[1]), so möchte ich doch noch darauf hinweisen, dass nach Gérard[2]) bei den Ophrydinae von den Bündeln der paarigen Sepalen ein Seitenzweig in die Lippe abgeht, was eben dahin gedeutet worden ist, dass die Staminodien A_2 A_3 in der Lippe enthalten sind. Jetzt können wir die Sache dagegen so deuten, dass diese Seitenzweige allerdings ursprünglich den genannten Staminodien, die ja vor den paarigen Sepalen stehen, zugehörten, dass dann aber in dem Maass, als phylogenetisch die ersteren verkümmerten und das Labellum im Umfang zunahm, eine Ablenkung in die Lippe stattfand, deren Ernährungsbedürfniss dasjenige der schwachen Rudimente überwog. Wir hätten damit auch eine Erklärung dafür, dass bekanntlich die Oehrchen kein eigenes Gefässbündel besitzen — es wäre interessant an triandrischen Monstrositäten zu untersuchen, ob bei ihnen vielleicht die sonst in das Labellum einbiegenden Stränge nun in die paarigen überzähligen Staubblätter gehen.

Die bisher erwähnten Ophrydinen-Gattungen gehörten alle den Unterabtheilungen der Serapiadeae und Gymnadenieae an. Zur Untersuchung der Entwicklungsgeschichte der Satyrieae und Corycieae habe ich noch kein Material erhalten können: hinsichtlich der Habenarieae habe ich durch die Güte des Herrn Professor Oudemans wenigstens einige Knospen von Bonatea speciosa Willd. analysiren können. Das Rostellum ist hier aufgeblasen haubenartig entwickelt (Fig. 4, 5, 6), die Antherenfächer sind stark ausgezogen und nach vorn und oben gekrümmt. Die Ränder des Rostellums ziehen sich an ihnen empor und umhüllen kappenartig ihre Spitze, so dass die Klebmasse auch hier im Gewebe des Rostellums entsteht; sie gehen dann wieder nach abwärts und auswärts, wie namentlich aus dem schematischen Querschnitt Fig. 6 deutlich wird und erreichen die Basis der stark concaven, bandartigen Verlängerungen, welche hier aus den paarigen Carpellspitzen g_2 g_3 sich entwickeln und die Narben der Blüthe darstellen.

1) Vgl. Orchideenblüthe, p. 81.
2) a. a. O., p. 234.

C. Monandrae Acrotonae.

III. Neottiinae: Epipactis Crantz, Cephalanthera Rich.

Der Blüthenbau der genannten beiden Gattungen ist von Darwin[1]) genau beschrieben worden und auch wohl so allgemein bekannt, dass ich nicht näher darauf einzugehen brauche; über die Blüthenentwicklung liegen nur vor ganz kurze Bemerkungen von Irmisch[2]) und Wolf[3]) über Epipactis. Die jüngsten Stadien habe ich an E. palustris Crantz untersucht, wovon Herr Stud. Förster mir Material bei Sandtorf in der Nähe von Mannheim zu sammeln so freundlich war. Mitte April hatten die aus 8—10 cm langen Gliedern bestehenden, dichasialen Rhizome dieser Art am Ende ihrer vorjährigen Sprosse 2—3 cm lange aufrechte Triebe, welche Inflorescenzen umschlossen, an deren Spitzen noch neue Blüthen angelegt wurden, während die ältesten Knospen schon $1^1/_2$ mm maassen.

Zuerst entstehen, wie bei Orchis, die beiden paarigen Glieder des äusseren Perigonkreises, dann das dem Tragblatt zugewandte unpaare, welches auch in den nächsten Stadien erheblich kürzer bleibt, als die ersteren; dann folgt das Labellum, erst nach ihm werden die paarigen Petalen angelegt, so dass auch hier die der Axe zugewandte Seite der Blüthe die geförderte ist. Im Längenwachsthum bleiben Lippe und Petalen bis zu ziemlich erheblicher Knospengrösse auch hinter dem unpaaren Sepalum weit zurück, wie der Längsschnitt Fig. 12, Taf. IV. zeigt, ausserdem sind die ersteren im Verhältniss zu ihrer Länge breiter und endigen weniger spitz. Nahezu gleichzeitig mit dem Labellum tritt dann auch dicht davor das mediane, später fruchtbare Staubblatt auf und platten sich die Anlagen beider etwas von einander ab (Fig. 7, 9), wenn die Anthere sich nun rasch vergrössert.

Durch Streckung einer schmalen Zone der Blüthenaxe, wobei ein schmaler Streifen zwischen Lippe und Staubblatt im Längenwachsthum zurückbleibt, wird dann die Fruchtknotenhöhlung angelegt (Fig. 12). Die Blüthe hat sich inzwischen an der Spitze geschlossen, so dass man für die älteren Stadien auf successive Schnitte angewiesen ist. Ein Querschnitt in mittlerer Höhe zeigt kaum

1) Fertilisation of Orchids. II. Edit. p. 93, 80.

2) Linnaea XVI. p. 469.

3) a. a. O., p. 281.

Deckung der äusseren Perigonblätter, während im inneren Kreise vermöge des stärkeren Breitenwachsthums der Petalen das Labellum von diesen deutlich gedeckt wird (Fig. 9) — die Anthere ist etwas nierenförmig geworden. Ein etwas tiefer geführter Querschnitt ist dann in Fig. 10 dargestellt. Neben der schmäleren Grundfläche der Anthere A_1 und deutlich ein wenig tiefer inserirt sind rechts und links auf der Innenseite der becherförmigen Axe zwei kräftige Höcker a_2 a_3 entstanden, während zwischen ihnen eine breite Platte hervortritt, das künftige Rostellum. Nach der Lage der Theile können wir jene Höcker nur deuten als die Glieder des inneren Staminalkreises, (vgl. auch Fig. 8) welche bei den Cypripedilinae fruchtbar werden — dem entspricht auch, dass sie ein wenig tiefer als das fertile Staubblatt und etwas höher als das Rostellum inserirt sind. In Fig. 13 ist ein Längsschnitt dargestellt, der etwas seitlich von der Medianebene geführt, ein Staminodium getroffen hat. Sehr schwach werden die paarigen Carpellspitzen angelegt, welche in Fig. 10 nur als ganz unbedeutende Vorwölbungen auf der dem Rostellum gegenüber liegenden Seite der Fruchtknotenhöhlung erscheinen. Einen Blüthenquerschnitt mit deutlich gefurchter Anthere aus einer etwa $1^1/_2$ mm langen Knospe giebt dann endlich Fig. 11 wieder; er ist oberhalb der Insertionsebene des fruchtbaren Staubblatts geführt, enthält also Staminodium und Carpellspitzen nicht.

Der Längsschnitt einer 4 mm langen Knospe Fig. 14 hat insoweit Interesse, als er noch in diesem weit vorgeschrittenen Stadium keine Säule zeigt — es sind nur vorhanden der deutlich gestielte Staubbeutel A_1, das grosse Rostellum g_1 und die gegenüberliegende kurze Zunge, welche einem der paarigen Carpellspitzen entspricht — der Narbencanal ist noch äusserst kurz. Das Vorhandensein der Gefässbündel für Rostellum, Staubblatt und medianes Sepalum beweist die genaue mediane Führung des Schnitts — in Folge dessen sind auch die Staminodien nicht getroffen. Die Streckung, welche dann die in Fig. 19 fertig dargestellte Säule bildet, findet erst kurze Zeit vor dem Aufblühen statt und zwar derartig, dass die Staminodien ziemlich tief bleiben. Bei Epipactis bleibt die Säule überhaupt sehr kurz — ich habe desshalb noch die Figuren 20, 21 von Cephalanthera rubra Rich. hinzugefügt, wo die späte Streckung viel beträchtlicher ist[1]). Die erstere Abbildung ist nach einer 4 mm

langen Knospe gezeichnet — von einer Säule ist noch nichts vorhanden, das Rostellum, das Staubblatt und zwei seitliche Anhänge, die wohl jedenfalls den Staminodien von Epipactis entsprechen, sitzen unmittelbar dem Fruchtknoten auf. Selbst an centimeterlangen Knospen ist die Säule noch ganz kurz und erst kurz vor dem Aufblühen erfolgt die letzte kräftige Axenstreckung, welche Staubblatt, Staminodien, Rostellum und Narbenfläche hoch über den oberen Rand des Fruchtknotens emporhebt (Fig. 21).

Jetzt bleibt noch zu besprechen die Entwicklung des sackartigen Hypochiliums, welches sowohl Epipactis, als Cephalanthera bekanntlich besitzen. Bei Epipactis ist es etwa halbkugelig und von derberer Substanz als der mit schmaler Basis ihm angefügte, mit zarten Längskämmen versehene Obertheil der Lippe, bei Cephalanthera erinnert seine Basis mehr an die Kinnbildungen vieler Orchideen. Die zu entscheidende Frage ist, ob das Hypochilium mit zum medianen Petalum gehört, oder ob es eine Axenbildung ist, während nur der zartere Obertheil des Labellums dem Mesopetalum entspricht. Dass bei Cephalanthera noch an 4 mm langen Knospen dieser letztere fast unmittelbar dem Fruchtknotenrand aufsitzt und die Einschaltung des Hypochils im Wesentlichen erst an 2 cm langen, lebhaft roth gefärbten Knospen erfolgt, habe ich schon früher angegeben[2]). Was Epipactis betrifft, so ist deren Lippe in Fig. 18 in einem Längsschnitt einer zum Aufblühen fertigen Knospe dargestellt. Geht man auf jüngere Stadien zurück und betrachtet das Labellum von der Fläche, so erscheint es noch in 3 mm langen Knospen als ein spitz und breit eiförmiges Blättchen ohne jede Gliederung. Dann aber nimmt die Lippe die Fig. 15—17 dargestellte Gestalt an; sie zeigt am Grunde eine schwache Einschnürung und es wird deutlich, dass der oberhalb der letzteren gelegene Theil dem späteren Endlappen entspricht, während durch spätes starkes Wachsthum des schmalen basalen Streifens das Hypochil entsteht, welches zuerst nahezu eben ist und erst spät durch Flächenwachsthum halbkugelig wird.

Die Frage spitzt sich also so zu: entsteht an dem eiförmigen Blättchen die Einschnürung, so dass der schmale untere Streifen

1) Vgl. Pfitzer, Orchideenblüthe, p. 122.

2) a. a. O., p. 122.

mit zum Mesopetalum gehört, oder wird das unveränderte erstere nur emporgehoben durch eine an seiner Basis, unter der Einschnürung aus der Blüthenaxe hevorgehende Wucherung?

Auf Längsschnitten erkennt man auch bei noch sehr geringer Breite des basalen Streifens, dass derselbe, namentlich am Grunde, dicker ist, als der obere Theil der Lippe und als deren Basis in jüngeren Stadien vor Bildung des ersteren. Genauere Untersuchung lehrt aber, dass diese Verdickung nicht durch Einschaltung eines dickeren Streifens geschieht, in welchem Falle dessen Zellen in Längsreihen liegen mussten, sondern durch Dickenwachsthum und damit verbundener Zelltheilung durch Wände, die der Oberfläche der Lippe parallel sind. Präparirt man das junge Labellum aus einer grösseren Reihe von Knospen in verschiedenen Entwicklungsstadien frei, so überzeugt man sich ferner, dass die abgerundeten Begrenzungen, welche die ganz junge, noch ungegliederte Lippe an ihrer verschmälerten Basis zeigt, immer erhalten bleiben und dass oberhalb derselben eine zuerst sehr flache, dann immer stärkere Einbuchtung auftritt, die Mesochilium und Epichilium trennt. Es liegt also kein zureichender Grund vor, das erstere bei Epipactis für eine Axenbildung zu halten und man wird dem entsprechend wohl auch bei der nahe verwandten Cephalanthera nur die kinnartige Basis der Lippe als eine Axenwucherung betrachten dürfen, während der grosse häutige Sack unterhalb des Endlappens mit zum Mesopetalum gehören und dem Hypochilium von Epipactis analog sein dürfte.

Irmisch[1]) hat Missbildungen von E. latifolia Rchb. beschrieben, an denen der ganze untere Theil des Labellums fehlte, andererseits aber auch solche, bei denen die Gliederung desselben sehr verringert und nur durch eine schwache Verschmälerung angedeutet war. Es bleibt also abnormer Weise die Gestaltung der Lippe in verschiedenen Stadien stehen, während das allgemeine Wachsthum fortdauert, so dass an dem ausgewachsenen Organ Formen erscheinen, welche normal nur jüngeren Stadien desselben zugehören. Warner[2]) fand bei Cephalanthera grandiflora Babingt. Blüthen mit normaler Säule, aber drei Lippen — die beiden überzähligen nahmen die Stelle

1) Linnaea, Vol. XVI. p.

2) Abnormal flowers of Cephalanthera grandiflora. Journ. of Botany. 1873. p. 236.

der paarigen Staubblätter des äusseren Kreises ein, so dass auch diese gelegentlich entwickelt werden können.

Weitere Mittheilungen über andere Gattungen der Neottiinae hoffe ich zu geben, sobald einige noch fehlende Entwicklungsstadien genügend beobachtet sind.

Figuren-Erklärung.

Tafel III.

Fig. 1. Längs halbirte junge Knospe von Paphiopedilum longifolium (Rchb. f.) Sm medianes Sepalum, S das aus den beiden seitlichen Sepalen durch Verwachsung entstandene Blättchen, p Petalum, l Lippe. — Fig. 2. Medianer Längsschnitt einer älteren Knospe derselben Art. Bezeichnungen dieselben, A_1 die Anlage des Staminodiums, g_1 des unpaaren Carpells. — Fig. 3. Die hinter dem in Fig. 2 dargestellten medianen Längsschnitt liegende Längshälfte derselben Knospe. a_2 Anlage eines fruchtbaren Staubblatts, g_3 eines paarigen Carpells. — Fig. 4. Querschnitt einer jungen Knospe derselben Art. — Fig. 5. Tiefer geführter Querschnitt derselben Knospe, A_1 die Anlage des Staminodiums; a_1 a_{11} die jungen später fruchtbaren Staubblätter. — Fig. 6. Querschnitt einer älteren Knospe von P. longifolium. Bezeichnungen wie in den früheren Figuren. — Fig. 7. Tiefer geführter Querschnitt derselben Knospe. — Fig. 8. Längs halbirte noch ältere Knospe derselben Art. Bezeichnungen wie früher. — Fig. 9. P. barbatum (Lindl). Staminodium, fruchtbare Staubblätter und Narbenflächen von oben gesehen aus einem Knospenquerschnitt. Unten die quer durchschnittene Basis des Labellums. — Fig. 10. P. insigne (Wall). Befruchtungsorgane frei gelegt und von der Seite gesehen aus einer älteren Knospe. Beginn der Ueberkrümmung der fertilen Staubblätter nach der Lippenseite. — Fig. 11. P. longifolium (Rchb. f.) Seitenansicht der fertigen Befruchtungs-Organe. Oben das behaarte Staminodium, darunter eines der rechtwinklig gebogenen fruchtbaren Staubblätter, ganz unten Griffel und Narbenflächen. — Fig. 12. Dasselbe von unten her gesehen; A_1 Staminodium, a_1 a_2 fruchtbare Staubblätter, g_1 g_2 g_3 Narbenflächen. — Fig. 13. Dasselbe von oben her gesehen sammt den unteren Theilen der Petalen p und der Lippe l — Fig. 14. Diagramm einer dimeren Cypripedilinen-Blüthe S Sepalum p Petalum, A_1 (links), A_2 (rechts) äussere, a_1 (oben), a_2 (unten) innere Staubblätter. — Fig. 15. Orchis Morio L. Scheitelansicht einer sehr jungen Blüthenknospe. — Fig. 16. Dieselbe Art. Durchsichtig gemachte junge Knospe von der Axe her gesehen. S_1 seitliche, Sm medianes Sepalum, p Petalum, l Lippe. Zwischen Lippe und medianem Sepalum ist ein ganz schmaler Streifen des fruchtbaren Staubblatts sichtbar. — Fig. 17. Dieselbe Art. Querschnitt einer jungen Blüthenknospe. Sm medianes, S_1 seitliche Sepalen, p Petalum, l Lippe, A_1 medianes, A_2 A_3 seitliche Staubblätter des äusseren Kreises; letztere werden zu den Säulenröhrchen. — Fig. 18. Dieselbe Art. Knospenlängsschnitt. Bezeichnungen dieselben. — Fig. 19. Dieselbe Art. Aelterer Knospenquerschnitt. Bezeichnungen dieselben. — Fig. 20. Etwas tiefer geführter Querschnitt derselben Knospe mit den Staminodien A_2 A_3 und der Anlage des Rostellums g_1, welches von der viellappig gewordenen Anthere überlagert wird. Unterhalb g_1 der sichelförmige Eingang in die Fruchtknotenhöhlung. — Fig. 21. Dieselbe Art. Medianer Längsschnitt einer älteren Knospe. Bezeichnungen dieselben. — Fig. 22. Dieselbe Art. Tief geführter Blüthenquerschnitt g_1 Rostellum, g_2 g_3 die Spitzen der beiden seitlichen Carpelle. — Fig. 23. Dieselbe Art. Noch tiefer geführter Querschnitt, pl. die drei Placenten.

Tafel IV.

Fig. 1. Orchis latifolia L. Querschnitt einer weit vorgeschrittenen Knospe. Bezeichnungen wie in Fig. 17 Taf. III. — Fig. 2. Orchis ustulata L. Befruchtungsorgane einer grösseren Knospe von vorn gesehen. A_2 A_3 die Staminodien (Säulenröhrchen), g_1 das die Basis der Antherenfächer umfassende Rostellum, g_2 g_3 Narbenflächen, Sp. Sporen — Fig. 3. Dieselbe Art. Längsschnitt durch die Spitze eines Antherenfachs und den damit verwachsenden Theil des Rostellums. — Fig 4. Bonatea speciosa W. Befruchtungsorgane aus einer grösseren Knospe von der Seite gesehen. A_1 fruchtbares Staubblatt, g_1 Rostellum, g_2 g_3 Narben, F. die von Kappen des Rostellums überdeckten Spitzen der Antherenfächer. — Fig. 5. Dieselben von vorn gesehen. Bezeichnungen dieselben. — Fig. 6. Schematischer Querschnitt durch die Befruchtungsorgane von Bonatea speciosa. — Fig. 7. Epipactis palustris Crantz. Querschnitt einer sehr jungen Blüthenknospe Sm medianes, S_1 seitliche Sepalen, p Petalum, l Lippe, A_1 das später fruchtbare Staubblatt. — Fig. 8. Dieselbe Art. Tiefer geführter Querschnitt einer etwas älteren Knospe. Bezeichnungen dieselben, a die vor dem Petalum stehenden, dem inneren Staubblattkreis zugehörenden Staminodien (späteren Säulenröhrchen). — Fig. 9. Dieselbe Art. Aelterer Knospenquerschnitt. Bezeichnungen wie in Fig. 7. — Fig. 10. Dieselbe Art. Tief geführter Querschnitt einer älteren Knospe. a_2 a_3 die Staminodien, g_1 das Rostellum, g_2 g_3 die Spitzen der paarigen Carpelle. — Fig. 11. Dieselbe Art. Querschnitt einer grossen Knospe. Bezeichnungen wie in Fig. 7. — Fig. 12. Dieselbe Art. Junge Blüthenknospe längs halbirt. Bezeichnungen dieselben. — Fig. 13. Dieselbe Art. Aeltere Blüthenknospe längs halbirt. a. Staminodium. — Fig. 14. Dieselbe Art. Grosse Blüthenknospe längs halbirt. — Fig. 15. Epipactis atrorubens Schult. Labellum aus einer grösseren Knospe von der Fläche gesehen. — Fig. 16. Dieselbe Art. Lippe und Säule aus einer grösseren Knospe von der Seite gesehen. — Fig. 17. Dieselbe Art. Jüngere Lippe stärker vergrössert von der Fläche gesehen. — Fig. 18. Dieselbe Art. Längs halbirte grosse Knospe. Sm medianes, S_1 ein seitliches Sepalum und Hypochilium, Pm Endlappen der Lippe, p Petalum, A_1 fruchtbares Staubblatt. — Fig. 19. Dieselbe Art. Säule von vorn gesehen; g_1 Rostellum, a Staminodien (Säulenröhrchen). — Fig. 20. Cephalanthera rubra Rich. 4 mm lange Knospe nach Entfernung des Sepalum und Petalum. x das noch kleine Hypochilium, Pm der Endlappen der Lippe, A_1 fruchtbares Staubblatt, a Staminodium, g_1 Rostellum. — Fig. 21. Dieselbe Art. Fertige Blüthe nach Entfernung des Sepalum und Petalum. Bezeichnungen dieselben wie in Fig. 20.

Ueber den Einfluss des Turgors der Epidermiszellen auf die Funktion des Spaltöffnungsapparates.

Von

Dr. R. Schaefer.

Einleitung.

Obwohl nach den älteren Arbeiten von Mohl und den neueren von N. J. C. Müller der Bau und die Funktion des Spaltöffnungsapparates im Allgemeinen untersucht und beschrieben waren, so lag es doch in der Art und Weise, physiologische Fragen vorwiegend beschreibend zu lösen, begründet, dass die Wechselbeziehung zwischen Bau und Funktion nie genügend und erschöpfend in Zusammenhang gebracht wurden. Wenn man auch die an den Schliesszellmembranen auftretenden Verdickungen bereits kannte, so wurde doch die Kenntniss vom Vorhandensein dieser nicht weiter verwerthet und ihre Bedeutung für das Spiel des Oeffnens und Schliessens ganz ausser Acht gelassen. Erst durch Schwendener's grundlegende Abhandlung „Ueber Bau und Mechanik der Spaltöffnungen" war eine auf physikalischen Gesetzen basirende Erklärung gegeben, welche gerade diese Verdickungsleisten als mechanisch wirksames Element in den Schliesszellen hinstellte und in dieser Weise auf die zwischen Bau und Funktion stattfindenden Wechselbeziehungen aufmerksam machte.

Bekanntlich ist nach der Schwendener'schen Erklärung „die Centralspalte im spannungslosen Zustande der Schliesszellen stets geschlossen, ebenso bei mässigem hydrostatischen Druck, so lange die Epidermiszellen das Gleichgewicht halten. Aendern sich jetzt

die endosmotischen Bedingungen zu Gunsten der Schliesszellen, so steigt hier der Turgor, die Wandungen werden durch den Ueberdruck gespannt, und jedes Flächenelement dehnt sich begreiflicherweise um so stärker aus, je geringer der in demselben vorhandene Widerstand. Da nun die auf der Bauchseite der Schliesszellen gelegenen Verdickungsleisten vermöge ihrer grösseren Querschnittsfläche einer Dehnung den grössten Widerstand entgegensetzen, so erfährt die ganze Bauchseite nur eine geringe, die schwache Rückenseite eine viel stärkere Verlängerung". Die Schliesszellen müssen sich also dem entsprechend krümmen, und die Spaltöffnung wird weiter. Mit dem Abnehmen der Turgescenz werden sich die Zellen durch die stärkere Contraktion der Rückenseite wieder gerade strecken und die Spalten schliessen. Daher erklärt sich das Oeffnen im turgescenten, das Schliessen im turgorlosen Zustande.

Soweit die Schwendener'sche Erklärung.

Wie aber jede Lehre ihre Gegner gefunden hat und finden wird, so ergeht es vielfach dieser, indem man versucht hat, das Oeffnen und Schliessen äusseren Kräften zuzuschreiben. Nahe genug liegt ja auch der Versuch, zumal der Spaltöffnungsapparat kein isolirter, sondern ein von allen Seiten von epidermalen Zellen umschlossener ist.

Wie die ganze Pflanze, so sind auch die Oberhautzellen den Schwankungen des Turgors unterworfen und werden jedenfalls mit der Zunahme desselben auch auf die Umgebung einen stärkeren hydrostatischen Druck ausüben, als vorher. Daher hat die Frage nach dem Einfluss dieses Druckes auf einen beweglichen Mechanismus, welchen die Schliesszellen darstellen, volle Berechtigung.

Ehe ich mich jedoch auf eine ausführlichere Beantwortung dieser Frage einlasse, sei es mir gestattet, die Thatsachen anzuführen, welche bereits über diesen Gegenstand festgestellt sind.

Halten wir zur Orientirung die allgemein gebräuchliche Bezeichnung „Kopf- und Fussende, Bauch- und Rückenseite" der Schliesszellen fest, so können wir die den Spaltöffnungsapparat umgebenden Epidermiszellen in solche theilen, die Kopf- und Fussende berühren und in solche, welche die Rückenseiten begrenzen. Es wäre nun der Fall denkbar, dass die Schliesszellen seitens der ersteren einen Gegendruck erführen und in Folge dessen, nach Art über-

lasteter Säulen, seitlich ausbiegen müssten, und dass sie bei der Verminderung dieser Ueberlastung in Folge ihrer Elasticität bestrebt wären, die frühere Form wieder anzunehmen. Doch diese Art der Einwirkung ist bereits von Schwendener[1]) als durchaus unzutreffend festgestellt:

„Die Schliesszellen sind vielmehr freien Säulen gleich zu achten, die durch innere Kräfte gekrümmt werden".

Von den rückenseitig anliegenden Epidermiszellen wäre schon eher eine Einwirkung auf das Oeffnen und Schliessen der Spalte denkbar. Denn es ist doch eine längst bekannte Thatsache, dass die Spaltöffnungen an frisch abgezogenenen Epidermisstreifen an den Stellen, wo die anliegenden Epidermiszellen verletzt sind, konstant eine weiter geöffnete Spalte und stärkere Krümmung der Rückenlinie zeigen, als an den übrigen nicht verletzten. Wenn nun der hydrostatische Druck dieser Zellen der freien Ausdehnung der Schliesszellen hindernd in den Weg tritt, so könnte man sich ja vorstellen, dass durch eine hinreichende Steigerung dieses epidermalen Druckes thatsächlich ein Spaltenverschluss zu Stande käme. In der That hat diese scheinbar begründete Vorstellung ihre Vertreter.

Um festzustellen, ob der Einfluss der nebenliegenden turgescenten Epidermiszellen für das Spiel des Oeffnens und Schliessens der Spaltöffnungen massgebend sei, hielt ich einige Untersuchungen für geeignet. Angeregt wurde ich besonders durch eine kürzlich erschienene Arbeit von Leitgeb[2]), welche in Bezug auf diesen Punkt zu mancherlei Deutungen, sowohl im günstigen als auch im ungünstigen Sinne, Anlass geben kann.

I.

Nach den Mohl'schen[3]) Experimenten war für einzelne Versuchsobjekte die Thatsache ziemlich sicher festgestellt, dass die vom

1) Schwendener: Ueber Bau und Mechanik der Spaltöffnungen. Aus dem Monatsbericht der Königlichen Akademie der Wissenschaften zu Berlin. 1881 pag. 849.

2) Leitgeb: Mittheilungen aus dem botanischen Institute zu Graz. Jena 1886: „Beiträge zur Physiologie der Spaltöffnungen."

3) Hugo v. Mohl: Welche Ursachen bewirken die Erweiterung und Verengerung der Spaltöffnungen? Botanische Zeitung 1856, pag. 703.

Einflusse der Nachbarzellen befreiten Porenzellen die zwischen ihnen gelegene Spalte in Wasser bedeutend erweiterten, dagegen in Glycerin oder anderen wasserentziehenden Mitteln dieselbe schlossen, und dass man dieses Experiment an demselben Präparat mit gleich gutem Erfolge wiederholen kann, wenn man den durch Glycerin verminderten Turgor der Schliesszellen durch Wasserzusatz von neuem erhöht. Der naheliegende Schluss war nun der, dass im spannungslosen Zustande der Schliesszellen die Spalte geschlossen, im turgescenten geöffnet ist.

Versuche, die Mohl mit Amaryllis, Pancratium illyricum, Lilium martagon, L. bulbiferum u. a. anstellte, führten zur vollständigen Bestätigung obigen Schlusses. So konstant aber auch die vom Einflusse der umgebenden Zellen befreiten Spaltöffnungen sich auf die Einwirkung von Wasser öffneten, so glaubte Mohl hieraus nicht auf ein analoges Verhalten an unverletzten Blättern folgern zu dürfen; vielmehr nahm er an, dass die an unverletzten Blättern eintretende Schliessung der Spalte eine wesentliche Folge des überwiegenden Seitendruckes der umgebenden Epidermiszellen sei. Daher wurde an die selbstständige Funktionirung des Spaltöffnungsapparates, welche von Schwendener im Jahre 1881 unwiderleglich nachgewiesen wurde, noch lange Zeit nach den Mohl'schen grundlegenden Untersuchungen nicht gedacht.

Gestützt auf die Mohl'schen Experimente und auf die älterer Forscher, schrieb man den Epidermiszellen für das Spiel des Oeffnens und Schliessens einen derartigen Antagonismus zu, dass man die Schliesszellen mit zwei Stahllamellen vergleichen könnte, die durch einen äusseren auf sie wirkenden Druck, etwa durch eine Schraube, zusammengedrückt und durch Verminderung dieses Druckes in Folge ihrer Elasticität bestrebt wären, die frühere Form wieder zu gewinnen. Zur Bestätigung dieser Ansicht wird nun die von Amici gemachte Entdeckung angeführt, nach der bei Benetzung der Blätter von Ruta graveolens die vorher geöffneten Spalten zum Verschluss gebracht würden.

Mohl[1]) fand nun schon die von „Amici so sehr gerühmte Ruta graveolens weniger zum Experimentiren tauglich, weniger weil

1) l. c. p. 699.

ihre Spaltöffnungen ziemlich klein sind, sondern hauptsächlich weil ihre Blätter sich äusserst schwer mit Wasser benetzen lassen," dennoch hielt ich hier eine Nachuntersuchung für durchaus nothwendig.

Was nun das Benetzen der Blätter anbetraf, so kam ich zu demselben Resultat wie Mohl und muss bestätigen, dass die Epidermis hier, wie bei vielen anderen Blättern, dieser Wasserzufuhr hartnäckig Widerstand leistete. Daher wird Niemand bezweifeln, dass diese Methode, den Turgor der Epidermis zu erhöhen, eine sehr wenig erfolgreiche ist. Ich schlug in Folge dessen den Weg ein, den Turgor der Oberhaut von Innen aus zu steigern.

Bevor ich mich jedoch auf weitere experimentelle Betrachtungen einlasse, mögen mir einige Worte über das von mir eingeschlagene Verfahren gestattet sein.

Es wurden bei allen Untersuchungen mehrere Flächenschnitte, deren Epidermis in den mittleren Partien noch mit mehreren Lagen des grünen Gewebes in Verbindung stand, betrachtet. Diese Untersuchungen an dickeren Schnitten sind insofern denen an dünneren oder gar denen an abgezogenen Oberhäuten vorzuziehen, weil man nur so Veränderungen verhüten kann, die leicht zu falschen Auffassungen führen können.

Bringt man nämlich dünne Flächenschnitte oder abgezogene Epidermisstreifen in das Präparatwasser, so dringt dieses bei der Berührung durch die zarten Innenwände der Epidermis, verursacht hier eine bedeutende Steigerung der Turgescenz, welche nicht in gleichem Maasse in den Schliesszellen eintreten kann. Die Folge davon ist, dass die Schliesszellen diesem Drucke nicht das Gleichgewicht zu halten vermögen und daher aneinander gepresst werden. Bei stärkeren Schnitten ist man dieser Gefahr nicht so ausgesetzt, da einerseits die Epidermis aussen, wie schon oben bemerkt, der Benetzung meist widersteht, andrerseits das grüne Gewebe die rasche Endosmose verhütet. Eine Zeit lang erhält man so das Präparat unverändert. Auch mit Oel und Eiweiss, als Präparatflüssigkeiten, habe ich gelegentlich Versuche angestellt. Wo es sich aber um den Ausschluss jeglichen störenden Mediums handelte, wurden die Schnitte so schnell wie möglich trocken, mit dem Deckgläschen bedeckt, unter das Mikroskop gebracht.

Da ich also durch Benetzen der Blätter von

Ruta graveolens

zu keinem positiven Resultate gelangen konnte, nahm ich von einem Exemplar, das vormittags zwischen 9 und 10 Uhr dem Garten entnommen war, mehrere Schnitte und untersuchte sie sofort trocken; mit dem Deckgläschen bedeckt, um der schnellen Verdunstung ein geringes Hinderniss entgegen zu setzen.

Es zeigten sich alle Stomata geöffnet.

Hierauf wurde dem Präparat unter dem Mikroskop Wasser zugesetzt und das Offenbleiben der meisten Spalten beobachtet[1]).

Nach einer Wassereinwirkung während 40 Minuten war noch kein Schliessen zu bemerken. Hieraus kann sicher gefolgert werden, dass

> die gleichmässige Steigerung des Turgos der Epidermiszellen einen Spaltenverschluss nicht herbeiführt, sondern dass der Turgescenzzustand der Schliesszellen allein die Oeffnung der Spalten bewirkt.

Andrerseits würde dies auch im Vergleich mit den von Amici gefundenen Resultaten zu dem Schlusse führen, dass Benetzung und innere Wasserzufuhr differente Erscheinungen hervorrufen. Da nun ohne Zweifel die innere Wasserzufuhr dem natürlichen Vorgange mehr entspricht, als die äussere Benetzung, so glaube ich, dass die durch erstere Methode gewonnenen Resultate unbedingt auch einen grösseren Anspruch auf Richtigkeit haben. Dies veranlasste mich, obige Methode von Amici bei meinen Untersuchungen nicht zur Anwendung zu bringen.

Ein anderes, vielfach behandeltes Versuchsobjekt ist

Amaryllis formosissima.

Die an dieser Pflanze von Mohl[2]) angestellten Experimente führten zu dem Ergebniss, dass frisch abgeschnittene Blätter nach kurzer Zeit der Besonnung in Wasser gestellt geschlossene, nach längerer

1) Allerdings zeigten sich auch einige geschlossen. Doch war dieses, wie am Primordialschlauch und den ausgetretenen Chlorophyllkörnern bemerkbar war, eine Folge von Verletzungen.

2) l. c. p. 716.

Zeit der Belichtung aber selbst in einem mit Wasserdampf gesättigten Raum oder unter Wasser gehalten beständig geöffnete Spalten zeigten; und zwar blieben die Stomata während einer längeren Zeit geöffnet, sobald die Blätter der directen Besonnung dauernd ausgesetzt waren.

Eine von mir hierüber angestellte Nachuntersuchung führte zu denselben Resultaten. Ich experimentirte zuerst mit Blättern, die im diffusen Tageslichte gestanden hatten, untersuchte sie als trockene Präparate und fand die meisten Spalten sehr verengt. Nach dem hierauf erfolgten Wasserzusatz zeigten sich viele Stomata geschlossen. Aber an Schnitten von Blättern, die von 10 Uhr vormittags bis 3 Uhr nachmittags der directen Besonnung ausgesetzt waren, gelang es nicht, durch Wasserzusatz einen Verschluss zu erzielen. Vom Einfluss der nebenliegenden Epidermiszellen befreite Spaltöffnungen zeigten jedoch eine etwas weiter offene Spalte. Blätter, die mehrere Stunden hindurch in der Dunkelheit vegetirt hatten, zeigten geschlossene Spalten. Es gelang mir nun bei schwacher Vergrösserung mehrere Spaltöffnungen vom Einfluss des Turgos der angrenzenden Epidermiszellen durch vorsichtiges Verletzen dieser vermittelst eines kleinen Skalpels zu befreien. Der Verschluss blieb überall gleich. Letzterer Versuch wurde erst trocken und dann mit gleichem Erfolge in Wasser vorgenommen.

Hieraus ergiebt sich:

Der während der Verdunkelung eingetretene Spaltenverschluss ist nicht als eine Wirkung des zunehmenden Turgors der angrenzenden Oberhautzellen zu betrachten.

Wenn man auch geneigt wäre, dieser Behauptung die von Leitgeb[1]) angezogene und von Mohl bestätigte gegenüber zu stellen, dass ja an vormittags nach kurzer Zeit der Besonnung abgeschnittenen Blättern Wasser den Spaltenverschluss hervorriefe, so möchte ich hierauf erwidern, dass für dieses Experiment die Schliesszellen im Nachtheil sind. Denn eines Theils sind die Epidermiszellen infolge ihres anatomischen Baues befähigt, stärker und schneller Wasser aufzunehmen, als die dickwandigen Schliesszellen und anderen Theils fehlt ja letzteren bei diesem Versuch der zum Einleiten einer kräftigen Endosmose nöthige Faktor, das hinreichende Sonnenlicht.

1) l. c. p. 146.

Allerdings schenkt Leitgeb dieser Erklärung keinen Glauben und meint auch, dass sich aus den Experimenten von Mohl und anderen Forschern dies nicht mit Nothwendigkeit herleiten lasse. Aber wenn wir in Erwägung ziehen, dass an längerer Zeit besonnten Blättern durch keine Art der Wasserzufuhr ein Verschluss zu Stande kommt, dass bei plötzlich eintretender Dunkelheit oder während der Nacht regelmässig ein Spaltenschluss eintritt, und dass es nicht gelingt, diesen durch Isoliren des Apparates zu öffnen, so werden wir mit Recht auf eine vom Turgescenzzustande der Oberhautzellen unabhängige Funktionirung des Spaltöffnungsapparates schliessen können; aber auch das Geöffnetbleiben nach längerer Belichtung, das Schliessen der Spalten nach kurz andauernder Besonnung durch Wassereinwirkung, der permanent eintretende Verschluss während der Nacht und endlich das Auftreten der Chlorophyllkörner in den Schliesszellen sprechen dem Licht eine nicht geringe Wirkung für das Spiel des Oeffnens und Schliessens zu. Daher glaube ich mit Mohl den Verschluss der Spalten an kurze Zeit besonnten Blättern nur der geringen Lichteinwirkung zuschreiben zu können.

Ich kann in Folge dessen nicht die Ueberzeugung gewinnen, dass Amaryllis eine Pflanze sei, deren Stomata durch den Turgor der angrenzenden Epidermiszellen geschlossen werden könnten.

Wenn auch Leitgeb[1]) durch seine Experimente mit Adiantum tenerum das Licht als unwesentlichen Faktor für die Schliess- und Oeffnungsbewegung hinstellen will, so glaube ich doch nach meinen an dieser Pflanze vorgenommenen Untersuchungen, dass diese seine Behauptung als unumstösslich richtig sich nicht nachweisen lässt.

„Adiantum tenerum und andere Gewächse mit zarten Blättern“, sagt Leitgeb, „zeigen, aus der feuchten Luft des Gewächshauses entnommen, schon nach kurzer Zeit, ohne dass ein sichtbares Welken wahrnehmbar wäre, geschlossene Stomata, welche sich im dunklen feuchten Raum bald wieder öffnen“.

Ich experimentirte mit Stöcken von Adiantum tenerum und von Erythrochiton brasiliense, allerdings einer Pflanze mit etwas stärkeren Blättern als Adiantum. Beide wurden der feuchten Atmosphäre des Gewächshauses entnommen und sofort in den Dunkelschrank, der

1) l. c. p. 147.

gewöhnliche Zimmertemperatur zeigte, der Trockenheit ausgesetzt. Nach längerer Zeit untersuchte ich nun diese so behandelten Objecte und fand bei Erythrochiton sowohl, als auch bei Adiantum, bei welcher Pflanze die Beobachtung an unverletzten Blättchen sehr schön vorgenommen werden kann, geschlossene Stomata. Hierauf setzte ich beide Stöcke in einen mit Wasserdampf gesättigten, dunklen Raum und bemerkte nach dreiviertelstündiger Dauer an Erythrochiton keine, an Adiantum nur einige sehr wenig geöffnete Spalten, die durch Verletzen der angrenzenden Oberhautzellen nicht zur Oeffnung gebracht werden konnten.

Hieraus glaube ich mit Recht folgern zu dürfen, dass das Licht ein nicht zu unterschätzender, mitwirkender Faktor ist. Sehr deutlich wurde die Richtigkeit dieses Schlusses noch dadurch bewiesen, dass beide Stöcke, in feuchter Luft unter der Glasglocke gehalten und ca. 2 Stunden der direkten Besonnung ausgesetzt, die Stomata wieder öffneten.

Da es aber nicht im Rahmen dieser Arbeit lag, den Einflüssen des Lichtes auf den Spaltöffnungsapparat weiter, als ganz allgemein nachzugehen und ich mich nicht berufen fühle, diese Streitfrage zu lösen, so will ich aus dem Verhalten von Adiantum und anderen schon von Mohl erwähnten Pflanzen nur eine für meine Arbeit wichtige Folgerung ziehen:

Adiantum tenerum und andere, namentlich Gewächshauspflanzen zeigen, in die gewöhnliche Atmosphäre gebracht, geschlossene Spalten, d. h. die Stomata werden in Folge einer zu starken Wasserabgabe durch Verdunstung, also durch Herabsetzung des Turgors in den Schliesszellen geschlossen.

Leitgeb spricht noch an anderer Stelle[1]) von dieser Erscheinung und hält sie für das Leben der Pflanze durchaus nicht für bedeutungslos. Vielmehr erblickt er hierin für die Pflanze ein wirksames Mittel, die Gefahr der drohenden Vertrocknung abzuschwächen. Diese Erklärung ist vollkommen übereinstimmend mit der jetzt allgemein giltigen Auffassung, dass die Schliesszellen als Regulatoren der Transpiration fungiren.

---

1) l. c. p. 176.

Ich konstatirte diese Vorgänge noch an einigen Objekten, so an

Blechnum occidentale
Pteris cretica
Passiflora coerulea
Selaginella caesia.

Bei allen diesen wurden die geschlossenen Stomata durch Hineinbringen der Pflanzen in eine feuchte Atmosphäre wieder geöffnet. Auch an Flächenschnitten mit geschlossenen Spalten gelang es leicht, diese durch Wasserzusatz zu öffnen. Die ferner von Leitgeb über diesen Punkt angestellten zahlreichen Untersuchungen stellen es ausser allen Zweifel, dass der Spaltenverschluss hier die Folge des abnehmenden Turgors, die Oeffnung die der gesteigerten Turgescenz in den Schliesszellen ist. Wollte man also den Spaltenverschluss lediglich vom Turgor der Oberhautzellen abhängig darstellen, so würde man hier auf unlösbare Widersprüche stossen.

Aconitum variegatum

wurde als ganze Pflanze während der Nacht in eine Blechbüchse gelegt, die reichlich mit Wasser versehen war. Morgens untersucht, zeigten sich die Spalten durchweg geschlossen. Nach längerer Zeit, während der die Pflanze, feucht gehalten, der Besonnung ausgesetzt war, wurden die meisten Stomata wieder geöffnet, besonders bemerkte ich dieses an den dünneren Partien von Flächenschnitten, wo durch Wasserzusatz die Schliesszellen nahezu kreisförmige Gestalt annahmen. Sicherlich kann man hier mit Mohl diese Erscheinung dahin erklären, dass durch die Lichtentziehung die Quantität der in den Schliesszellen vorhandenen osmotisch wirksamen Stoffe herabgesetzt und daher der Turgor der Schliesszellen vermindert, später aber durch die wieder erfolgte Belichtung derart gesteigert wurde, dass der während der Dunkelheit eingetretene Verschluss einem Oeffnen weichen musste. Derselbe Autor[1]) erklärt dadurch das ganz analoge Verhalten von Listera ovata. Ich glaube auch nicht fehl zu gehen, wenn ich das obige von mir gezeigte Verhalten von Adiantum tenerum und Erythrochiton brasiliense in dieser Weise begründe.

---

1) l. c. p. 717.

Nach Leitgeb[1]) zeigen Eranthis hiemalis und Aconitum variegatum trotz nächtlicher Verdunklung bei genügender Feuchtigkeit morgens geöffnete Spalten. Auch dieses Phänomen ist nach den Mohl'schen Ergebnissen immerhin denkbar. Denn nehmen wir durch die während des Tages erfolgte Besonnung die Bildung einer mehr als hinreichenden Quantität osmotisch wirksamer Stoffe an, so ist ersichtlich, dass der Turgor der Schliesszellen auch während der Nacht sich auf einer solchen Höhe behaupten kann, um den Gegendruck der Epidermiszellen zu überwinden. Ich bemerkte dieselbe Erscheinung an einem abends abgeschnittenen Zweige von Oenothera biennis, der feucht gehalten und der Verdunklung ausgesetzt, morgens geöffnete Stomata zeigte. Ich überzeugte mich übrigens bei allen diesen Objekten durch Glycerin von der Verschlussfähigkeit ihrer, selbst isolirten, Spaltöffnungsapparate.

Daher geht aus diesen Untersuchungen und Beobachtungen ohne Zweifel hervor, dass der Einfluss des Turgors der Epidermiszellen nicht für das Spiel des Oeffnens und Schliessens bedingend sein kann. Es bestätigt sich hierdurch auch die Beobachtung aller Forscher, dass die Stomata im hellen Tageslichte unter normalen Verhältnissen stets geöffnet sind.

Polygonum bistorta

zeigte in Folge der nächtlichen Verdunklung geschlossene Spalten. Es gelang leicht, durch Verletzen einiger angrenzenden Epidermiszellen, die Schliesszellen zu isoliren und ein minimales Oeffnen der Spalten zu bewirken. Durch Glycerin erfolgte ein vollständiger Verschluss. Dieselben Wahrnehmungen machte Leitgeb an Conanthera echeandia und Leucojum vernum.

Doch aus dieser Erscheinung möchte ich nicht folgern, dass die Aufhebung des epidermalen Turgors hier eine Oeffnung im strengsten Sinne hervorriefe. Meiner Meinung nach besassen die Schliesszellen hier einen so geringen Turgor, dass die umgebenden, nun stärker turgescenten Epidermiszellen die freie Ausdehnung hemmten. Ich glaube hier nur dasselbe Verhalten der Epidermiszellen zu sehen, wie es an geöffneten Spalten hervortritt, die isolirt, bekanntlich eine stärkere Krümmung der Rückenlinie, als nicht isolirte zeigen. Aber

1) l. c. p. 147.

das nur minimale Oeffnen und der vollständige Verschluss durch Glycerin zeigen deutlich, dass die Herabsetzung des Turgors der Schliesszellen allein den Verschluss der Spalten erzielt. Niemand wird aber die Thatsache bezweifeln, und ich will es am allerwenigsten, dass der Turgor der Oberhautzellen einen Einfluss im negativen Sinne auf die Spaltöffnung ausübt, aber als Wahrheit möchte ich nicht gelten lassen, in dieser Beeinflussung eine Kraft zu sehen, welche die Schliesszellen wie Stahllamellen aneinander presst. Zur Bekräftigung letzteren Satzes stellte ich weitere Untersuchungen an, die in Folgendem kurz erörtert werden sollen.

Lilium candidum

wurde vormittags zwischen 9 und 10 Uhr dem Garten entnommen, sofort untersucht und mit fast geschlossenen Spalten befunden; die nicht geschlossenen zeigten eine starke Verengung. Hierauf wurde dem Präparat, einem ziemlich starken Schnitt, Wasser zugesetzt, worauf an den dünneren Stellen ein sofortiges, an den stärkeren dagegen erst ein allmähliches Oeffnen eintrat. So fanden sich nach einiger Zeit alle Spalten geöffnet, isolirte und nicht isolirte. Doch zeigten auch die isolirten hier wieder die bekannte stärkere Krümmung der Rückenlinie. Durch Hinzufügen von Glycerin erfolgte ein allgemeines Schliessen, welches einem Oeffnen wich, als das Präparat tüchtig in nicht zu kaltem Wasser ausgewaschen wurde.

Diese ganze Beobachtung deckt sich im Wesentlichen mit der von Mohl angestellten über das Verhalten der Stomata bei Liliaceen und Orchideen, deren Spaltöffnungen in Wasser stets geöffnet bleiben.

Wenn nun nach Leitgeb[1]) beim Zusatz von Wasser anfangs, namentlich an stärkeren Schnitten, eine Verengung, dann aber wieder eine Oeffnung der Spalten eintritt, so kann ich darin nichts anderes finden, als dass hier die Epidermiszellen auch in Folge ihres, durch den anatomischen Bau bedingten, stärkeren und schnelleren Einsaugungsvermögens turgescenter werden, als die Schliesszellen, die doch ihre Zufuhr erst aus der Epidermis erhalten. Später, wenn ein Ausgleich stattgefunden hat, bemerken wir ja auch ein Oeffnen der Stomata, welches deutlich die selbstständige Funktionirung des

1) l. c. p. 157.

Apparats zeigt. Denn würden sich bei dem ganzen Vorgange die Schliesszellen passiv verhalten und nicht anders als Stahllamellen in Kraft treten, so dürfte es unmöglich werden, den hier auf ihnen lastenden Druck so weit zu überwinden, dass eine Spaltenerweiterung eintreten könnte. Es ist also diese anfängliche Verengung der Spalten dieselbe Erscheinung, von der ich schon oben gesprochen habe (cf. pag. 182), die sonst namentlich an dünneren Schnitten oder abgezogenen Oberhäuten sich bemerkbar macht. Ich kann die von Leitgeb hierüber gemachte Beobachtung in diesem Falle, wie im Allgemeinen, nur bestätigen. Dies erlaubt aber nicht den Schluss zu ziehen, dass der Turgor des angrenzenden epidermalen Gewebes für den Spaltenschluss eine bedingende Wirkung ausübe. Denn eines Theils zeigt der spannungslose Zustand der Schliesszellen geschlossene Spalten, anderen Theils gelang es Leitgeb nicht, durch Injiciren von Blättern mit Wasser vermittelst der Quecksilberpumpe, durchweg geschlossene Spalten zu erzielen. — Abgesehen nun davon, dass eine solche gewaltsame Wasserzufuhr nicht zu vergleichen ist mit der auf natürlichem Wege sich steigernden Turgescenz. — Dieselben Resultate erhielt ich durch die Untersuchungen, welche ich mit Hyacinthus orientalis und Tulipa sylvestris anstellte.

Auch von Viola odorata liess sich dies bestätigen; doch ist letztere Pflanze noch in anderer Weise bemerkenswerth.

Nach einem Gewitterregen, der mehrere Stunden dauerte, wurden am Nachmittag, als die Atmosphäre und der Boden noch einen starken Feuchtigkeitsgehalt aufwiesen, die Blätter von verschiedenen Stöcken obiger Pflanze untersucht. Es zeigten sich am trockenen Präparat geschlossene Stomata mit geöffneten untermischt. Ein anderes Blatt wurde nun unter Wasser getaucht und während 12 Stunden hier belassen. Die am folgenden Morgen vorgenommene Untersuchung wies fast nur geöffnete Spalten auf, die durch Wasserzusatz keinerlei Veränderungen zeigten. Zu bemerken ist jedoch, dass an dem untergetauchten Blatte sich die Schnittfläche auch im Wasser befand, also eine wesentlich innere Wasserzufuhr zur Geltung gebracht wurde. In Folge dieses Verhaltens würde sich Viola eng an die Orchideen und Liliaceen anschliessen, und es würde auch dadurch der Beweis geliefert sein, dass in Folge von Benetzung es nicht gelingt, eine merkbare Spaltenverengung zu erzielen, sobald

durch innere Wasserzufuhr der Turgescenzzustand der Schliesszellen ein derartiger ist, dass eine Spaltenerweiterung hat Platz greifen müssen.

II.

Leitgeb[1]) folgerte aus seinen Untersuchungen, die er anstellte, um die Verbreitung des Verhaltens der Orchideenspaltöffnungen während der Nacht zu verfolgen, dass es nicht bei allen Pflanzen zum vollständigen Verschluss käme und dass „bei allen jenen Pflanzen, bei denen die Spalten während der Nacht geschlossen werden, auf Flächenschnitten der Wasserzusatz rasch eine Verengung resp. einen Verschluss zur Folge hat, während jene, bei denen ein solcher Verschluss nicht zu erzielen ist, auch gegen die Verdunklung mehr oder weniger unempfindlich sind, womit jedoch nicht gesagt sein soll, dass es nicht auch unter den letzteren solche giebt, welche bei Benetzung von Flächenschnitten ihre Spalten verengen oder sogar schliessen."

Aus diesen Anführungen schien mir die Ansicht hervorzugehen, dass ein Oeffnen oder Verschluss der Spalten einzig und allein durch den Turgor der Epidermiszellen bedingt sei. Daher prüfte ich an einigen Objekten das Abhängigkeitsverhältniss des Spaltöffnungsapparates von dem Turgor seiner Umgebung.

Fritillaria imperialis.

Ein mässig starker Flächenschnitt zeigte am Nachmittag geöffnete Stomata, deren Oeffnungsbestreben durch Wasserzusatz sich erheblich steigerte. Isolirte Spaltöffnungen zeigten wiederum die stärkere Krümmung der Rückenlinie, wurden aber auf Zusatz von Glycerin vollständig geschlossen.

Dieselben Resultate ergaben sich aus den Untersuchungen, die an

Tulipa sylvestris,
Pelargonium zonale,
Hydrangea hortensis,

---

1) l. c. p. 174.

Viola odorata,
Passiflora coerulea,
Ricinus communis u. a.

ausgeführt wurden. Auch gelang es bei den meisten Objekten nach dem erfolgten Verschluss durch Glycerin, an isolirten Spalten nach dem Einlegen des Präparates in temperirtes Wasser die Oeffnung wieder hervorzurufen.

Ficus stipulata

und

Polygonum bistorta

sind ebenfalls zwei hierher gehörige Pflanzen.

Ferner experimentirte ich mit Tradescantia discolor und zwar hauptsächlich aus dem Grunde, weil Leitgeb nach seinen Untersuchungen höchst differente Resultate erlangte. Ein am Nachmittag zwischen 5 und 6 Uhr vom Stock geschnittenes Blatt zeigte geöffnete Spalten. An einem dünnen Schnitt zeigte sich nach der Wassereinwirkung eine merkbare Spaltenverengung, während an stärkeren Schnitten die Verhältnisse ungeändert blieben. Diese Resultate stimmen mit den von Leitgeb angeführten überein, welcher an nur wenig geöffneten Spalten ein anfängliches Schliessen bemerkte. Ich erkläre die von mir an dünnen Schnitten bemerkte Erscheinung in derselben Weise, wie schon oben (pag. 182) in der allgemeinen Ausführung.

Helleborus viridis

und

Urtica dioica

zeigten an feucht gehaltenen und verdunkelten Blättern eine durchgehende Spaltenverengung, eine Erscheinung, die auch Leitgeb ausser an diesen noch an Ranunculus acris und R. bulbosus bemerkte. Dagegen gelang es mir nicht offene Stomata dieser Pflanzen durch Turgorsteigerung der Oberhautzellen zum Verschluss zu bringen. Glycerin zeigte die bekannte Wirkung: Verschluss selbst isolirter Spaltöffnungs-Apparate.

Auch an anderen Objekten fand ich die Beobachtungen Leitgebs bestätigt.

Impatiens parviflora, I. balsamina und Saponaria officinalis zeigten weder in Folge von Wasserzufuhr an Schnitten, noch durch Hineinstellen ganzer Pflanzen in feucht gehaltene Räume eine merkbare Spaltenverengung. Dasselbe war mit Viola tricolor der Fall; ausserdem kann ich noch hierauf bezügliche Beobachtungen an Ficus stipulata und Saxifraga sarmentosa anführen. Bei letzterer genügte eine Dauer von 1 Stunde und 35 Minuten, um vorher wenig geöffnete Spalten unter der mit Wasserdampf gesättigten Glasglocke zum vollen Oeffnen zu bringen. Letzteres in feuchter Atmosphäre ausgeführte Experiment lässt doch sicher in Folge der gewiss auf ein Minimum reduzirten Transpiration auf einen beträchtlich erhöhten Turgor der Epidermiszellen schliessen. Trotzdem zeigten sich die Stomata geöffnet. Aus diesen Befunden lässt sich daher folgendes Ergebniss feststellen:

> Der durch Wasserzufuhr oder Herabsetzung der Transpiration gesteigerte Turgor der Epidermiszellen hat keinen Einfluss auf die Funktion des Spaltöffnungsapparates, und es hängt die Spaltenerweiterung lediglich von der gleichzeitigen Steigerung der Turgescenz in den Schliesszellen ab, während ein Verschluss der Spalten mit der Verminderung des Turgors der Schliesszellen eintritt.

Nach den Ausführungen Leitgebs würden nun diese Pflanzen bei nächtlicher Verdunklung geöffnete Stomata zeigen, ihren Schliesszellen also wesentlich dieselbe Eigenschaft innewohnen, wie denen der meisten Wasserpflanzen, die sich durch beständig offene Stomata bekanntlich auszeichnen. Bei letzteren gelingt es nun nach Schwendener nicht, durch Einwirkung von Glycerin, Jod oder Säuren einen Spaltenverschluss zu erzielen, wohl gelingt dies aber mit den Pflanzen obiger Versuchsreihe. Daher bin ich auch der Meinung, dass bei allen diesen es unter normalen Verhältnissen zum Verschlusse kommen wird; wo aber ein solcher in der That nicht eintritt, d. h. gelegentlich beobachtet wird, scheint mir das Oeffnen eine Folge irgend welcher den Turgor der Schliesszellen erhöhenden Ursachen zu sein, die vielleicht in zufälliger Bodenfeuchtigkeit, Wurzeldruck, starker Besonnung während des Tages u. a. gefunden werden könnten. Wie nun aus meinen weiteren Untersuchungen hervorgeht, gelingt es überhaupt nicht an Flächenschnitten oben beschriebener Art

(pag. 182), durch Wasserzusatz verengte oder gar dauernd geschlossene Spalten zu erzielen. Sollten diese nun alle während der Nacht offene Stomata zeigen? Ich glaube nicht und ebenso wenig glaube ich, dass aus diesem Verhalten an Flächenschnitten ein allgemein giltiger Rückschluss auf das Verhalten der Spalten während der Nacht berechtigt ist. Es wäre dies nach meiner Meinung nur dann denkbar, wenn wir die Wirkung des Lichtes auf den Spaltöffnungsapparat nicht zu berücksichtigen hätten. Eine dahin gehende, bestätigende Untersuchung ist aber noch nicht gemacht worden.

III.

Nehmen wir während der Nacht, in Folge der geringeren Lufttemperatur und des grösseren Feuchtigkeitsgehalts der Atmosphäre, eine Herabsetzung der Transpiration der Epidermiszellen an, so muss hiermit eine wesentliche Turgorsteigerung in denselben verbunden sein. Daher wäre auch der Fall denkbar, dass diese gesteigerte Turgescenz von solchem Einfluss auf den Spaltöffnungsapparat wäre, dass wir den Spaltenverschluss während der Nacht oder der Dunkelheit nur hierdurch erklären könnten.

Zur Entscheidung dieser Frage experimentirte ich zuerst mit Pflanzen, die im diffusen Tageslichte oder in der Dunkelheit vegetirt hatten und hier geschlossene oder mindestens stark verengte Spalten zeigten.

Amaryllis formosissima

zeigte, wie schon oben erwähnt, nach einer Verdunklung von mehreren Stunden im feuchten Raume geschlossene Spalten. Durch Verletzen der angrenzenden Epidermiszellen wollte es nun nicht gelingen, irgend einen Spaltöffnungsapparat zum Oeffnen zu bringen. Ebenso wenig gelang es durch vorsichtiges Hinzusetzen von verdünntem Glycerin von einer Seite des Deckgläschens die Spalte auch nur momentan zu öffnen. Diese Art der Turgorverminderung der Epidermiszellen ist insofern berechtigt, als man das vordringende Glycerin ganz gut von Zelle zu Zelle beobachten kann, ohne der

Gefahr ausgesetzt zu sein, den Turgor des ganzen Präparates mit einem Male herabzusetzen. Wäre letzteres der Fall, so wäre jede weitere Erörterung unnöthig, da ja dann der Spaltenverschluss eo ipso eintreten muss. Zu demselben Resultat führten die Untersuchungen an

Polygonum bistorta

und

Helleborus viridis.

Letztere Pflanze hatte längere Zeit im Schatten gestanden, wurde dann der völligen Dunkelheit ausgesetzt und zeigte nach etwa zweistündiger Dauer meist geschlossene Stomata. Nach der Aufhebung des Turgors der angrenzenden Epidermiszellen in derselben Weise wie bei Amaryllis war anfanges keine, später eine ganz minimale Oeffnung vorhanden, welche jedoch einer offenen Spalte nicht gleichzuachten ist. Diese Erscheinung mag nach der von mir schon oben gegebenen Erklärung sich begründen lassen.

Passiflora coerulea

und

Rheum rhaponticum

zeigten ein analoges Verhalten wie die übrigen.

Um aber Zufälligkeiten aus dem Wege zu gehen, die bei den obigen Versuchen nach Leitgeb dadurch eintreten könnten, dass für die genügende Verdunstungs-Hemmung nicht Sorge getragen sei, schlug ich ein anderes Verfahren ein. Ich untersuchte nun die Blätter von grösseren Gewächsen, namentlich von Bäumen, auf welche Bodenfeuchtigkeit und Wurzeldruck nicht einen solchen Einfluss ausüben können, wie auf die Blätter krautartiger.

Auch die künstliche Verdunklung mied ich und stellte daher die folgenden Beobachtungen nachts zwischen 11 und 1 Uhr an.

Die Blätter oder die Zweige wurden mindestens in einer Höhe von 1,50 m, vom Boden ab gerechnet dem Stamm entnommen.

Alnus cordifolia
Acer tartaricum
Iuglans regia
Prunus mahaleb
Tilia grandifolia
Tilia parvifolia

zeigten während der Nacht geschlossene Spalten. Es gelang nicht durch Isoliren der Apparate offene Stomata zu erhalten.

Aus diesen Befunden und den vorher schon erwähnten (Impatiens parviflora, I. balsamina etc. pag. 193) glaube ich mit Recht folgern zu dürfen, dass der durch herabgesetzte Transpiration gesteigerte Turgor der Oberhaut nicht die den Spaltenverschluss bewirkende Kraft ist, dass vielmehr der spannungslose Zustand der Schliesszellen hauptsächlich dieses Verhalten der Stomata während der Nacht bedingt.

Allerdings soll ja nicht geleugnet werden, dass durch den Turgor der Oberhaut die Stomata fester geschlossen werden könnten, und dass mit dem Oeffnen der Spalten eine Druckabnahme in den Epidermiszellen verbunden wäre. Denkbar wäre dies, aber nothwendig ist es nicht.

IV.

Nach der allgemein herrschenden Auffassung dienen die Spaltöffnungsapparate als Regulatoren der Transpiration. Ihre Beweglichkeit und Abhängigkeit vom Turgescenzzustande der ganzen Pflanze machen sie zu dieser Funktion auch sehr geeignet. Da nun aber die Wasserpflanzen durch ihre Umgebung sich vor zu starker Transpiration nicht zu schützen brauchen, werden die Stomata bei den meisten niemals geschlossen, d. h. die Schliesszellen bleiben hier auch in spannungslosen Zustande gekrümmt.

Diese Thatsache wurde zuerst von Schwendener[1]) hervorgehoben und gezeigt, dass den Schliesszellen verschiedener Wasserpflanzen jede Funktionsfähigkeit verloren gegangen ist. Nach den Experimenten dieses Autors gelang es nicht, die Stomata von Alisma plantago, Calla palustris, Salvinia natans u. a. weder durch Glycerin, Jodlösung oder Säuren, noch durch die Dunkelheit zum Verschluss zu bringen. Diesen Angaben gegenüber hat nun Kohl[2]) vor Kurzem behauptet, „dass die weitaus meisten Wasserpflanzen vollkommen

1) l. c. p. 853.

2) Kohl, die Transpiration der Pflanzen. Braunschweig. pag. 25.

bewegliche Spaltöffnungen besässen“. Haberlandt[1]) dagegen stellte es sich zur Aufgabe, die Richtigkeit letzterer Behauptung zu prüfen und gelangte, — seine Nachuntersuchungen, namentlich an Wasserpflanzen mit schwimmendem Laube vollziehend, zu dem Resultate[2]), dass die ganz allgemein gehaltene Behauptung Kohls unrichtig sei. Aber die Haberlandt'schen Untersuchungen über diesen Gegenstand bestätigten nach anderer Richtung hin die Leitgeb'sche Behauptung, dass die Krümmungsfähigkeit der Schliesszellen einiger Wasserpflanzen von Anfang an nicht vollkommen fehle, und dass es auch hier zum Oeffnen und zum Verschluss der Spalten komme. Diese Verschlussfähigkeit besteht aber meist nur darin, dass die vorspringenden Cuticularleisten zur Berührung kommen. Eine Ausnahmestellung unter diesen nimmt nach Haberlandt, Potamogeton natans ein, bei der der Verschluss auf die gewöhnliche Weise, durch Berührung der Bauchwände zu Stande kommt. Eine Thatsache, die auch von Leitgeb bestätigt wird. Doch nicht allein diese Ausnahmestellung unter den phanerogamen Wasserpflanzen, sondern die Art und Weise, wie der Spaltenverschluss nach Leitgeb[3]) hier stattfinden sollte, zogen meine Aufmerksamkeit auf sich.

Was zunächst den anatomischen Bau der Schliesszellen anbebetrifft, so fand ich Haberlandt's Angaben und Zeichnungen durchaus zutreffend, besonders auch die, dass die äusseren Cuticularleisten stärker entwickelt seien, als die inneren

Potamogeton natans

ist nach Leitgeb das beste Beispiel, um zu zeigen, dass der Spaltenverschluss in einem wesentlichen Abhängigkeitsverhältnisse vom Turgescenzzustande der hier auftretenden Nebenzellen stehe.

Zur Feststellung und Prüfung dieser Thatsache verfuhr ich in folgender Weise. Ich liess einige Blätter während des ganzen Tages frei auf der Wasseroberfläche schwimmen und untersuchte sie nachmittags zwischen 4 und 5 Uhr als trockene Präparate. Es zeigten sich die meisten Stomata sehr verengt, im Verhältniss zu anderen weit geöffneten. Auf Wasserzusatz zeigten sich nach einem anfäng-

1) Flora 1887, No. 7.
2) l. c. p. 109.
3) l. c. p. 156.

lichen Verengungsbestreben bald die meisten geöffnet, allerdings auch einige wenige geschlossen. Vom Einfluss des Turgors der angrenzenden Nebenzellen befreite Spaltöffnungsapparate zeigten offene, nach Glycerinzusatz vollständig geschlossene Stomata. Nun wurden diese so behandelten Präparate einige Zeit in Wasser gelegt und dann beobachtet, wobei sich auch die isolirten Spalten als geöffnet erwiesen.

Leitgeb stellte Blätter in einen mit Wasserdampf gesättigten Raum und fand die Stomata sehr verengt, auch wohl ganz geschlossen. Ferner bemerkte er beim Hinzufügen von Wasser an Flächenschnitten erst ein Schliessen, dann ein Oeffnen der Spalten. Dieser Autor erklärt dieses Verhalten dadurch, dass durch die ungemein rasche Turgorzunahme in den Nebenzellen ein derartig starker Druck gegen die Rückenwände der Schliesszellen ausgeübt werde, dass ein Spaltenverschluss erfolge. Das später eintretende Oeffnen sei nur eine Folge der Verdunstung des Wassers in den Nebenzellen, also der herabgesetzten Turgescenz derselben.

Wenn sich an Schnitten, die der ungehinderten Verdunstung ausgesetzt seien, ein Oeffnen der Spalte konstant bemerkbar mache, so schreibt Leitgeb dieses Verhalten derselben Wirkung zu, da an Theilen des Präparats, die durch das Deckglas geschützt sind, diese Erscheinung sich nicht so schnell konstatiren lässt.

Dennoch glaube ich aber nicht fehl zu gehen, wenn ich, gestützt auf meine obigen Beobachtungen und Resultate, die Behauptung aufstelle:

> Das Spiel des Oeffnens und Schliessens der Spalten an Blättern von Potamogeton natans ist wesentlich bedingt durch die Funktion der Schliesszellen und frei von einem Antagonismus der Nebenzellen.

Denn

1. steht es fest, dass die Schliesszellen im spannungslosen Zustande, auch an isolirten Apparaten, stets geschlossene Spalten zeigen. Hierfür bürgt die Wirkung wasserentziehender Mittel und das Auftreten meist sehr verengter Spalten beim Liegenlassen von Blättern auf der Wasseroberfläche[1];

---

1) Leitgeb räumt pag. 156 ein, dass der Turgor der Schliesszellen in Folge weiterer Verdunstung soweit sinken könne, dass eine bedeutende Verengung der Spalten oder sogar Verschluss eintritt.

2. ist es eine allgemein bekannte und von mir schon wiederholt betonte Erscheinung, dass auf dünnen Schnitten durch Wasserzusatz sich oft die Verhältnisse in nicht naturgemässer Weise gestalten;
3. spricht das später stattgehabte Oeffnen nach der Einwirkung von Wasser für den selbstthätigen Mechanismus der Schliesszellen, da nach erfolgter Ausgleichung der osmotischen Verhältnisse die Schliesszellen derart turgescent werden, um den Gegendruck der Epidermiszellen zu überwinden und
4. der Umstand, dass es gelingt vorerst durch Glycerin geschlossene isolirte Spalten durch Wassereinwirkung wieder zum Oeffnen zu bringen;
5. gelingt es nicht im mit Wasserdampf gesättigten Raum durchweg geschlossene Spalten zu erzielen (nach Leitgeb).

Zu gleicher Zeit will ich aber nochmals hervorheben, dass es nicht in meiner Absicht liegt, den Einfluss des Turgors der Nebenzellen ganz zu leugnen; denn, dass hierdurch in der That eine Beeinflussung der Spaltenerweiterung eintritt, ist längst beobachtet und leicht zu konstatiren, aber, dass der dauernde Verschluss allein eine Wirkung dieses hydrostatischen äusseren Druckes sei, halte ich für durchaus unrichtig. Daher möchte ich auch der Einräumung Leitgebs[1]) über diesen Punkt:

> „Freilich kann eine Ausgleichung der Krümmung und somit ein Spaltenverschluss auch dadurch erfolgen, dass durch Wasseraustritt aus den Schliesszellen deren Turgor sinkt. Dies kann erfolgen durch künstlich eingeleitete Exosmose und ebenso durch Verdunstung etc."

den Vorzug geben und darin eine ausschlaggebendere Erklärung sehen, als in den früheren Ausführungen.

Von den übrigen der von Haberlandt angeführten Versuchsobjekte erregte ganz besonders

Azolla

mein Interesse, da auch hier, wie ich mich hinreichend zu überzeugen Gelegenheit hatte, turgorherabsetzende Mittel einen Spalten-

1) l. c. p. 156.

verschluss, der nicht etwa nur in der Berührung der oberen Theile der Schliesszellmembranen besteht, bewirken, ohne dass ein Vorhandensein der sonst den Spaltöffnungsapparat charakterisirenden Verdickungsleisten konstatirt werden konnte.

Um so aufmerksamer wurde ich aber noch, als ich an isolirten Spaltöffnungen dieselben Erscheinungen wahrnahm, wie an nicht isolirten. Setzte ich einige Pflänzchen anstatt auf der Wasseroberfläche nur auf feuchter Unterlage der trockenen Atmosphäre aus, untersuchte dann nach einiger Zeit an trockenen Präparaten, so fand ich die meisten Spalten weniger weit offen, als nach dem später erfolgten Wasserzusatz. Glycerin bewirkte eine starke Verengung bis vollständigen Verschluss. Daher war selbst an isolirten Apparaten im turgorlosen Zustande ein Verschluss, im turgescenten eine Oeffnung der Spalten, also eine vollkommen selbstständige Functionirung des Apparates zu bemerken.

Jedoch der äussere Habitus dieser Apparate liess schon einen von der gewöhnlichen Art abweichenden Bau der Schliesszellen und daher auch einen anderen Mechanismus vermuthen. Infolgedessen hielt ich es nicht für unzweckmässig, etwas näher auf den anatomischen Bau und dessen Bedeutung für den Mechanismus des Oeffnens und Schliessens einzugehen.

In der Flächenansicht ist, wie Strasburger[1]) und de Bary[2]) angegeben haben, die Gesammtform eine unregelmässig drei- bis fünfeckige, und die Lage ist nicht eine zur Längsachse des Blattes parallele, sondern eine quer zu derselben gerichtete. Die Spalte hat eine rechtwinklige Stellung zur Richtung der Scheidewände der Schliesszellen und bedingt daher eine vor allen anderen Spaltöffnungen ausgezeichnete Erscheinung. Mettenius[3]) hatte ferner die Beobachtung gemacht, dass die äusserst zarte Querwand, welche die beiden Schliesszellen trennt, bisweilen aufgelöst wird. Strasburger[4]) bestreitet dies zwar, aber Haberlandt[5]) tritt für die Richtigkeit der Mettenius'

---

1) Pringsheim: Jahrbücher V. Band Tafel 36. Strassburger: Ueber Azolla. Leipzig 1873. pag. 34. 35.

2) de Bary: Vergleichende Anatomie. pag. 37.

3) Azolla nilotica. Seorsum impressa ex Dr. Th. Kotschy, plantis tinneanis 1. und 2. Spalte. (Nach Strasburger zitirt).

4) l. c. p. 35.

5) Flora 1887 No. 7 pag. 106. Taf. II. Fig. 14, 15.

schen Angaben ein. Meine über diesen Punkt angestellten Nachuntersuchungen führten dahin, dass ich sämmtliche von Haberlandt[1]) hierüber gegebenen Einzelnheiten vollständig bestätigen kann. Der Querschnitt zeigt gleichmässige zarte und unverdickte Wandungen und durchaus keine Cutikularleisten.

Nun ergiebt sich aber aus der von Haberlandt seiner Abhandlung beigegebenen Zeichnung[2]) unzweifelhaft eine länglich ovale Form des Querschnitts, während ich an allen Schnitten, im offenen wie auch im geschlossenen Znstande der Spalte eine regelmässige Kreisform beobachtete. An starken Schnitten vorgenommene Messungen lieferten im turgorlosen und turgescenten Zustande der Schliesszellen für die Querschnittsdurchmesser in vertikaler und horizontaler Richtung constante Werthe und bestätigten so die obige Beobachtung.

Haberlandt erklärt nun das Schliessen infolge Vorwölbens der Bauchwand. Diese Erklärung ist auch für eine ovale Querschnittsform recht gut denkbar. Denn durch die gesteigerte Turgescenz in den Schliesszellen würden letztere ihren ovalen Querschnitt in den eines Kreises umwandeln, also den horizontalen Durchmesser verkürzen, d. h. die Spalte erweitern. Mit dem eintretenden spannungslosen Zustande würde die ursprüngliche Form wieder hergestellt und die Spalte geschlossen werden. Bei kreisförmiger Gestalt des Querschnitts dagegen ist der Verschluss durch Vorwölben der Bauchwand nicht gut denkbar, und daher sah ich auch von dieser Erklärung ab. Nun entsteht aber die Frage, in welcher Weise vollzieht sich denn das Oeffnen und Schliessen der Spalte?

Zur Beantwortung führten mich folgende Messungen:

Im	offenen			geschlossenen		
	Zustande der Spalte					
Präparat	1	2	3	1	2	3
		Mik.			Mik.	
Breite des Spaltöffnungsapparates von Rückwand zu Rückwand	27	21	36	24	19,5	31,5
Weite der Spalte	3	1,5	4,5	0	0	0
Länge des ganzen Apparates	—	37,5	43,5	—	36	41,25

1) l. c. p. 106.
2) l. c. p. 106, Tafel II., Fig. 17.

Aus diesen Ergebnissen folgt erstens, dass die Breiten beim Uebergange aus dem offenen in den geschlossenen Zustand der Spalte genau um die Porenweite sich vermindern, d. h., dass also der horizontale Durchmesser des Querschnitts constant bleibt, und zweitens, dass die Länge und Breite des ganzen Spaltöffnungsapparates im turgescenten Zustande grösser sind als im spannungslosen.

Folglich kann der Verschluss nur durch Annäherung, das Oeffnen nur durch Zurückweichen der Bauchwände zu Stande kommen.

Bei einer grossen Anzahl von Spaltöffnungen wird nun, wie schon oben hervorgehoben wurde, die Scheidewand zwischen den Schliesswänden theilweise resorbirt. „Oft sind auch nur kleine circumscripte Wandparthien, welche aufgelöst werden, so dass die Wandung siebartig durchlöchert erscheint; häufig verschwinden auch grössere Wandungstheile, wobei die Resorption stets von der Spalte aus gegen den Rand zu vorschreitet; bisweilen bleiben auf diese Weise nur kleine Membranreste übrig, welche vom Rand des Apparates aus leistenförmig nach innen vorspringen. Nur selten kommt es vor, dass die Scheidewand auf beiden Seiten der Spalte vollständig gelöst wird[1])". Infolge dieser Eigenthümlichkeit kann der Zellsaft der Schliesszellen ungehindert kommuniciren. Je weiter die Resorption der Scheidewände nun eingetreten ist, um so mehr wird der ganze Schliessapparat einer einzigen Zelle ähnlich.

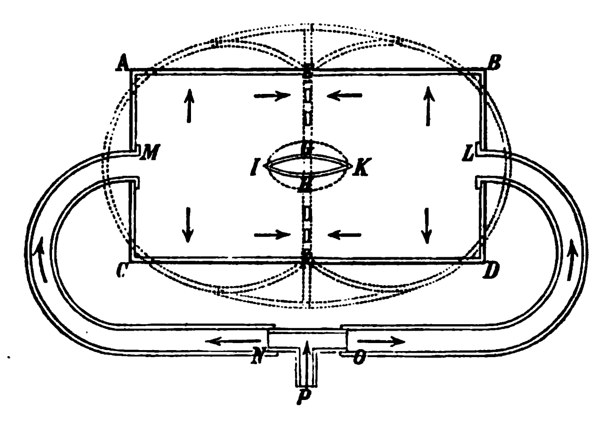
Jede beliebige Zelle muss unter dem Einfluss des hydrostatischen Druckes, welchen der Zellsaft ausübt, das Bestreben haben, sich abzurunden, und wenn die Membran dehnbar ist, so wird schon bei mässigem Druck das Gleichgewicht nicht eher hergestellt sein, als bis die Kugelform wirklich annähernd erreicht ist[2]).

Uebertragen wir das Gesagte auf den Azolla-Spaltöffnungsapparat, bei dem wir zunächst die Scheidewand, wenn auch siebartig durchlöchert, so doch noch als vorhanden ansehen wollen, so ergiebt sich folgendes[3]):

Infolge des von innen wirkenden, sich steigernden Druckes erfahren die Kanten *A C* und *B D* eine Verschiebung nach aussen, d. h. sie wölben sich vor. Wie nun die Widerlager eines Gewölbes

1) Vergl. **Haberlandt** Flora 1887 No. 7.
2) Vergl. **Nägeli** und **Schwendener** Mikroskop. Leipzig 1877. pag. 401.
3) ibid. pag. 402.

von letzterem nach aussen gedrängt werden, so müssen die Wölbungen *A C* und *B D*, die Kanten *A B* und *C D*, weil hier der Druck von innen wirkt, an den Punkten *A*, *B*, *C* und *D* nach einwärts ziehen, während die Wölbungen *A E*, *E B*, *C F* und *F D* aus demselben Grunde einen Zug gegen die Scheidewände *E G* und *F H* ausüben. Die Punkte *A*, *B*, *C*, *D* müssen also in der Richtung der Diagonale nach innen rücken.



Durch den gesteigerten hydrostatischen Druck im Innern des Apparates findet sonach eine möglichst kugelförmige Abrundung desselben statt, und der ferner hierdurch gegen die Scheidewände ausgeübte Zug bewirkt die Erweiterung der Spalte *JK*, ohne dass eine Querschnittsveränderung der Schliesszellen damit verbunden sein muss. Beim Sinken des Turgors treten die Wände wieder in ihre frühere Lage zurück und schliessen die Spalte.

Berücksichtigen wir noch den sehr selten vorkommenden Fall, die vollständige Resorption der Scheidewände, so bin ich in der Lage durch experimentelle Beobachtungen ein durchaus übereinstimmendes Verhalten eines solchen Apparates mit dem des obigen konstatiren zu können. Ich liess aus 1 mm starken Kautschukplatten eine Nachbildung des Azolla-Spaltöffnungsapparates, ohne Berücksichtigung der Scheidewände, *EG* und *HF* anfertigen und zwar wählte ich in Folge des häufigen Vorkommens die Rechteckform. Zur gleichmässigen Drucksteigerung im Innern des Apparates dienten die beiden Kautschuckschläuche *MN* und *LO*, die einerseits an den schmalen Seiten des Apparats luftdicht eingekittet, andrerseits

durch das T förmige Glasrohr *NOP* in Verbindung gesetzt waren. Durch Hineindrücken von Luft von *P* aus wurde zunächst die kreisförmige Querschnittsform hergestellt, dann der Druck derart gesteigert, dass der Apparat die durch die punktirten Linien angegebene Form erhielt, aus der die Spaltenöffnung und das Abrundungsbestreben, genau den nach der Natur gefundenen Messungen entsprechend, sich ergab.

Was nun von der viereckigen Form des Apparates gilt, lässt sich ohne Weiteres auch auf die übrigen auftretenden Formen übertragen und bedarf keiner weiteren Auseinandersetzung.

Daher glaube ich aus meinen Beobachtungen und Experimenten mit Recht folgern zu können, dass der Spaltöffnungsapparat von Azolla allein durch innere Kräfte funktionirt und keines Antagonismus der Epidermiszellen bedarf.

Die von mir an Salvinia natans vorgenommenen Untersuchungen führten zu keinem nennenswerthen Resultate, da es mir durch keinerlei Mittel gelang an den mir zur Verfügung stehenden Exemplaren einen Spaltenverschluss zu erzielen.

Die obigen Untersuchungen stellen ohne Zweifel fest, dass es durchaus richtig ist, dem Spaltöffnungsapparat eine selbstständige und von jedem Antagonismus der Oberhautzellen unabhängige Funktion zuzuschreiben und dass diese Funktion allein durch die Turgescenzänderungen der Schliesszellen ermöglicht wird. Doch soll hierdurch nicht die Thatsache geleugnet werden, dass der Turgor der Epidermiszellen die Schliesszellen an der freien Ausdehnung hindere. Es lässt sich demnach die jedesmalige Spaltenweite als Resultante zweier verschieden grosser, entgegengesetzt gerichteter Kräfte, wirksam in derselben geraden Linie, darstellen, von denen die grössere der Turgor der Schliesszellen, die kleinere der Turgor der angrenzenden Epidermiszellen wäre. Diese theilweise Beeinflussung zu widerlegen, lag nicht in meiner Absicht, und habe ich auch, um mich von diesem Verdachte zu befreien, an mehreren Stellen meiner Arbeit auf die Richtigkeit dieser schon von früheren

Autoren betonten Thatsache hingewiesen. Aber die Behauptung, die Schliesszellen würden durch den Turgor der Epidermiszellen ebenso wie zwei Stahllamellen durch eine äussere Kraft zusammengedrückt, ist mit der Auffassung, die Spaltenerweiterung erfolge durch die Epidermis in Folge von Auseinanderziehen, von der Hand zu weisen. Bei allen meinen Untersuchungen konstatirte ich immer die selbstständige Funktion der Schliesszellen nnd wüsste daher keinen Grund, weshalb die Spaltöffnungsapparate die nachweislich nach physikalischen Gesetzen und infolge ihres anatomischen Baues zur vollkommenen selbstthätigen Funktionirung geeignet sind, sich der Hilfe äusserer Agentien bedienen sollten. Da ich bei der Beobachtung jedesmal den anatomischen Bau des Querschnittes berücksichtigte und immer das für die Schliesszellen characteristische Merkmal, die Verdickungsleisten, in den Fällen, wo ein thatsächliches Oeffnen und Schliessen der Spalte eintritt, zu bestätigen Gelegenheit hatte, so wurde ich bei der Untersuchung an Azolla um so aufmerksamer, als hier die Mechanik der Bewegung der Schliesszellen ohne Hilfe von Verdickungen geschieht, aber doch auch ausschliesslich von inneren Kräften abhängig ist.

Dieses vom typischen Bau der Schliesszellen abweichende Vorkommen und diese nach wesentlich anderen mechanischen Gesetzen sich vollziehende Bewegung des Oeffnens und Schliessens steht aber nicht allein da, denn nach den kürzlichen Untersuchungen des Herrn Dr. Volkens tritt bei den Gramineen noch ein anderer Mechanismus auf, der jedoch ebenfalls nur von den Turgescenzschwankungen in den Schliesszellen beeinflusst wird.

Ueber die Einwirkung basischer Stoffe auf das lebende Protoplasma.

Von

Th. Bokorny.

Hierzu Tafel V.

Die Beobachtung, dass verdünntes Ammoniak in lebenden Spirogyrenzellen eine Granulation des Protoplasmas bewirkt, welche mit der Silberreaction auf lebendes Protoplasma in engem Zusammenhang steht[1]), veranlasste mich, die Einwirkung basischer Stoffe überhaupt auf lebendes Protoplasma weiter zu untersuchen. Als Untersuchungsobject dienten jene pflanzlichen Zellen, bei denen die Körnchenbildung mit verdünntem Ammoniak oder kohlensaurem Ammoniak leicht zu erhalten ist, vor allen andern Spirogyrenzellen. Da an denselben einerseits eine merkwürdige Uebereinstimmung in der Wirkung basischer Stoffe auf lebendes Protoplasma sich constatiren lässt und andrerseits gewisse nicht uninteressante Verschiedenheiten sich zeigen, dürfte eine Darlegung meiner Untersuchungsresultate vielleicht von einigem Werthe für die physiologische Kenntniss der Pflanzenzelle sein. Ohne es ursprünglich zu wollen, musste ich in diese Untersuchung auch den Zellsaft mit hereinziehen, weil derselbe den nämlichen Stoff, aus dem sich das lebende Protoplasma zusammensetzt, das active Albumin, häufig in Lösung enthält.

Ammoniak: Die merkwürdige Einwirkung dieses Stoffes auf lebendes Spirogyrenprotoplasma wurde von mir näher studirt bei Gelegenheit einer erneuten Untersuchung über die Silberabscheidung durch lebendes Protoplasma[2]), die vor mehreren Jahren von Loew

---

1) Pringsheims Jahrb. Bd. XVIII, Heft 2.

2) l. c.

und mir entdeckt worden war. Die Untersuchung ergab, dass das Ammoniak bei jener Reaction eine wesentliche Rolle spielt, insoferne als durch dasselbe das active Albumin (wahrscheinlich in Folge eines Polymerisationsvorganges) in Körnchen ausgeschieden wird, welche noch lange Zeit ein enormes Silberreductionsvermögen bewahren, während das nicht granulirte Protoplasma selbes bereits verloren hat. Ferner stellte sich in engem Zusammenhang mit dieser Thatsache heraus, dass die Körnchenausscheidung nur an lebendem Protoplasma zu erzielen ist, was sich nach der Loew'schen Hypothese von der Constitution des activen Albumins[1]) dahin erklärt, dass das Eiweiss im todten Protoplasma nicht polymerisationsfähig ist.

Die Körnchenbildung, welche durch Ammoniak bewirkt wird, tritt bei verschiedenen Concentrationsgraden verschieden rasch ein. Fast augenblicklich ist sie an Spirogyra zu erhalten mit 1-procentiger Ammoniaklösung. Die ausgeschiedenen Körnchen sind sehr klein und stehen dicht beisammen (siehe Fig. 1). Nach einiger Zeit bemerkt man eine beträchtliche Dunklung und dann Braunfärbung an den Körnchen, was jedenfalls von dem den Körnchen beigemengten Gerbstoff herrührt, der unter dem Einfluss des Ammoniaks sich bräunt. Bei diesem Vorgang behält die Zelle im Uebrigen ein unverändertes Aussehen, namentlich wenn man die Ammoniaklösung in noch grösserer Verdünnung anwendet.

Bei Gebrauch 1-procentiger Ammonlösung schwindet der Turgor der Fäden erst nach 15—20 Minuten, die Chlorophyllbänder zeigen dann statt der gezackten Ränder glatte, verquellen; der Zellkern stirbt ab unter blasiger Auftreibung u. s. w. Immerhin ist dabei zu verwundern, dass das Protoplasma nach so reichlich eingetretener Körnchenausscheidung, wie sie Fig. 1 zeigt, wenigstens noch einige Minuten das Aussehen des lebenden Zustandes gewährt. Dass es für die Zeitdauer dieser Resistenz wesentlich auf den ursprünglichen Zustand der Spirogyren ankommt, braucht nicht besonders erwähnt zu werden; kränkliche Zellen fallen sogleich zusammen, geben auch die Körnchenbildung nur in geringem Grade oder gar nicht, kräftig vegetirende Fäden widerstehen dem 1-procentigen Ammoniak verhält-

1) Loew und Bokorny, die chem. Kraftquelle im lebenden Protoplasma p. 26 ff.

nissmässig lang. Verdünnt man das Ammoniak so weit, dass die Lösung auf 20000 Thl. Wasser nur 1 Thl. Ammoniak enthält, so erhält man damit eine Körnchenausscheidung, wie sie in Fig. 6 dargestellt ist; selbstverständlich tritt dieselbe bei dieser grossen Verdünnung entsprechend langsam ein. Nimmt man die Fäden nachdem sie etwa 10 Minuten in dieser Lösung verweilt haben, unter das Mikroskop, so bemerkt man bei sonst völlig intactem Aussehen der Sp.-Zellen viele Körnchen im farblosen Plasma, ziemlich gleichmässig über den ganzen Plasmaschlauch verbreitet. Durch Wechseln der Einstellung kann man sich davon überzeugen, dass dieselben wirklich im Plasmaschlauch liegen, womit nicht gesagt sein soll, dass dieselben nicht unter Umständen auch im Zellsaft auftreten könnten, nämlich wenn letzterer actives Albumin in Lösung hält. Das Leben der Zelle ist durch diese Körnchenbildung, bei der die Körnchen allerdings viel weiter von einander abstehen und somit weniger zahlreich sind als bei Einwirkung 1-procentiger Ammon-Lösung, so wenig gestört, dass die Fäden ruhig weiter wachsen als wenn nichts geschehen wäre, wenn man sie in reines Wasser zurückbringt. Da Ammoniak von dieser Verdünnung leicht im Kulturwasser spontan (durch Pilzthätigkeit) auftritt, bemerkt man ähnliche Körnchenbildung wie in Fig. 6 häufig auch an Zelleu, die man gar nicht mit einem Ammoniakzusatz bedachte; besonders Spirogyren, die lange in demselben Wasser gestanden haben bei reichlicher Entwicklung von Spaltpilzen und Infusorien, gewähren dieses Ansehen[1]).

Um die Granulation sicher als dem Protoplasma, nicht etwa der Zellhaut angehörend zu erkennen, plasmolysirt man zweckmässig die Zellen vor Anwendung der Ammoniaklösung. In dem contrahirten, abgerundeten und noch lebendigen Protoplasten erscheinen dann mit 1-procentigem Ammoniak augenblicklich jene nämlichen Körnchen, wie sie auch am nicht contrahirten Protoplasten zu erhalten sind. Fig. 2 stellt eine solche zuerst mit Zuckerlösung und dann mit 1 pro mille Ammoniak behandelte Zelle dar.

Bringt man das Protoplasma mit Zuckerlösung zur Contraction und tödtet es dann (etwa mit verdünnter Schwefelsäure), so ruft

1) Die „Mikrosomen" der Autoren dürften wohl zum Theil mit diesen Ausscheidungen identisch sein; das bisher unerklärte spontane Auftauchen und wieder Verschwinden derselben lässt sich in diesem Zusammenhange wohl begreifen.

Ammoniak keine Körnchenbildung mehr hervor (Fig. 3). An dem nicht gerundeten Umriss der Protoplasten, der Verfärbung der Chlorophyllbänder, dem Umherliegen der Stärkekörner etc. erkennt man in diesem Falle leicht den eingetretenen Tod.

Nach H. de Vries Untersuchungen über die Wand der Vacuolen[1]) ist man im Stande, einen Theil des Protoplasten abzutödten ohne den andern zu schädigen, wenn man z. B. Spirogyren mit 10 procentiger Salpeterlösung behandelt. Hierbei stirbt meistens der äussere Theil der Protoplasmas momentan ab und erleidet keine Plasmolyse, während die an den Zellsaft grenzende Schicht (die Vacuolenwand) lebendig bleibt und zu ein oder mehreren Hohlkugeln im Innern der Zellen sich zusammenzieht. Behandelt man nun solche Zellen mit verd. Ammoniak, so erfolgt Körnchenbildung nur in der Vacuolenwand, dem Tonoplasten nach Vries, nicht in dem äusseren abgestorbenen Theil. (Siehe Fig. 4).

Ueber den Zusammenhang der Körnchenausscheidung mit der Silberreaction lebender Zellen habe ich vor einiger Zeit in diesen Jahrbüchern berichtet. Demnach besitzen die Körnchen, welche auf die beschriebene Weise erhalten werden, ein eminentes Silberreductionsvermögen; behandelt man in verd. Ammoniak gelegene Spirogyren mit alkalischer Silberlösung 1:100000, so wird der ganze Plasmaschlauch tief schwarz in Folge Schwärzung jedes einzelnen Körnchens. Stehen die Körnchen sehr dicht an einander, so kann man nun die einzelnen Körnchen nicht mehr unterscheiden, man sieht vielmehr ein gleichmässiges ununterbrochenes Schwarz (Fig. 5). Will man das Schwarzwerden des einzelnen Kornes erkennen, so muss man zu dem betr. Versuche Zellen auswählen, in denen die Körnchen vereinzelt liegen oder in Gruppen beisammenstehen, die aber unter sich durch grössere Zwischenräume getrennt sind. In solchen Fällen wird man sicher erkennen, dass die Schwärzung d. h. die Silberabscheidung in jenen Körnchen ihren Sitz hat[2]).

Bei Untersuchung der Ammoniakwirkung auf lebendes Protoplasma fiel mir bald auf, dass im Zellsaft mancher Zellen ähnliche

---

1) Plasmolytische Studien, Pringsh. Jahrb. Bd. XVI. H. 4.

2) Selbstverständlich soll damit nicht gesagt sein, dass nicht auch protoplasmatisches Eiweiss, das nicht granulirt ist, jene Silberabscheidung ergeben könne — soweit es noch unverändertes actives Albumin darstellt.

Dinge vorgingen wie im Protoplasma selbst. Aus dem Zellsaft der Spirogyrenzellen scheiden sich häufig Körnchen von derselben Beschaffenheit wie der beschriebenen aus. Sie bestehen aus activem Albumin und besitzen enormes Reductionsvermögen. Der Zellsaft enthält also in manchen Fällen actives Albumin, d. h. Albumin von der chemischen Beschaffenheit des protoplasmatischen Eiweisses, in Lösung. Bei Spirogyren kann man übrigens leicht beobachten, dass dieser Gehalt an ein und demselben Faden ein sehr wechselnder ist, indem manchmal von Zellen desselben Fadens die eine starke Granulation im Zellsaft ergiebt, die andere schwache, wieder eine andere gar keine. Wie die Körnchen des Protoplasmas erscheinen die des Zellsaftes nicht, wenn man die Zellen vorher auf irgend eine Weise tödtet. Fig. 7a stellt eine Zelle dar, in welcher die Granulation ausser im Plasmaschlauch auch im Zellsaft aufgetreten ist; die Körnchen des Zellsaftes haben sich nach der gerade nach unten liegenden Seite gesetzt. In Fig. 7b ist der Plasmaschlauch durch Silberlösung geschwärzt, die Zellsaftkörnchen sind durch irgend einen Riss aus dem Plasmaschlauch herausgefallen und liegen nun geschwärzt an der zufällig untersten Stelle.

Auf diese Körnchen-Ausscheidung hat Pfeffer in seiner Arbeit „über Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen“[1]) ebenfalls aufmerksam gemacht. Er beobachtete die Körnchenbildung auch noch in den Drüsenhaaren von Drosera rotundifolia (wo sie von Ch. Darwin schon früher bemerkt worden war), an den Wurzeln von Azolla caroliniana, Ricinus, Trianea bogotensis, Sarracenia und Pelargonium. Pfeffer erklärte diese Körnchen für gerbsaures Albumin, das bei Neutralisation des schwach sauren Zellsaftes durch kohlensaures Ammon ausgefällt werde. Dass dieselben nicht gerbsaures Albumin sind, sondern aus activem Albumin bestehen, dem mehr oder weniger Gerbstoff als unwesentlicher Bestandtheil beigemischt ist, darauf haben Löw und ich vor einiger Zeit von Neuem hingewiesen[2]). Im Uebrigen verdient die Beobachtung Pfeffer's, dass die Körnchen allmählich nach dem Absterben der Zellen sich verändern und in eine unlösliche Modification übergehen, unsere Be-

1) Untersuchungen d. bot. Inst. Tübingen. 2. Bd. 2. Heft. p. 239 ff.
2) Bot. Ztg. 1887. No. 52.

achtung; diese Veränderung tritt von selbst ein und kann durch gewisse Mittel beschleunigt werden. Meine eigenen Untersuchungen über diese Sache haben ergeben, dass jene Veränderung nicht blos in einem Unlöslicherwerden besteht, sondern auch in einer allmählichen Abnahme des Silberabscheidungsvermögens. Spirogyren, die nach 5 Minuten langem Aufenthalt in 1 p. m. Ammoniak reichlich Körnchen (in Plasma und Zellsaft) gebildet hatten, ergaben mit Silberlösung (sogleich angesetzt) totale Schwärzung. Nach 24 Stunden war das Silberabscheidungsvermögen scheinbar noch unverändert erhalten; nach 72 Stunden hatte schon eine wesentliche Abnahme desselben stattgefunden, viele Zellen reagirten nicht mehr oder gaben nur mehr Braunfärbung (von Gerbstoff). Nach 20 Tagen war das Silberabscheidungsvermögen der Körnchen total geschwunden. Offenbar geht das active Albumin dieser Körnchen nach dem Tode der Zellen allmählich in passives gewöhnliches über.

Die Körnchen[1]), welche in den Wurzelhaaren und Epidermiszellen von Trianea bogotensis (Fig. 16) auf Zusatz von verdünntem Ammoniak sich ausscheiden (wie mir schien hauptsächlich aus dem Zellsaft), besitzen ebenfalls grosses Silberabscheidungsvermögen, wie ein Versuch mit Silberlösung 1:100000 sofort belehrt.

In der Wurzel von Ricinus communis erhält man mit verdünntem Ammoniak, wie Pfeffer zuerst gezeigt hat, ebenfalls Körnchenbildung in einzelnen Zellen der Epidermis sowohl wie des Rindenparenchyms. Die ausgeschiedenen Körnchen werden mit alkalischer Silberlösung 1:100000 tiefschwarz von abgeschiedenem Silber, wie ich an Schnitten durch die Wurzel leicht constatiren konnte.

Ausser durch Ammoniak kann die Körnchenbildung durch basische Stoffe aller Art hervorgerufen werden, sodass hierin ein merkwürdig übereinstimmendes chemisches Verhalten des Protoplasmas gegenüber chemisch ähnlichen Stoffen sich zeigt. Schon Ch. Darwin hat gefunden, das die Körnchenausscheidung (Eiweiss-

1) Von den in vorliegender Arbeit gemeinten Körnchen ist wohl zu unterscheiden das Gerinsel, das sich manchmal in abgestorbenen Zellen findet. Es sieht anders aus (die echten Körnchen sind ganz rund) und besitzt keine Reductionskraft.

aggregation) in Drüsenhaaren von Drosera rotundifolia ausser durch Ammoncarbonat auch durch Kalicarbonat, Aetzkali, Aethylamin hervorgerufen werden kann. Meine Untersuchungen ergaben dasselbe Resultat für eine grössere Reihe von basischen Stoffen.

Kali wirkt dem Ammoniak ähnlich. Auch diese Base bewirkt in verdünnten Lösungen angewandt Körnchenausscheidung in Protoplasma und ev. Zellsaft. Man kann auch hier in der Verdünnung sehr weit gehen (bis 1:20000 und weiter), ohne dass die in Rede stehende Wirkung ausbleibt. Concentrirtes Kali verursacht wie concentrirtes Ammoniak keine Körnchenausscheidung, jedenfalls weil die Umlagerung des activen Albumins zu rasch erfolgt.

Natron bewirkt ebenfalls Granulation, aber schwieriger als Ammoniak und Kali.

Kalk ergab, als ich dessen Wirkung auf Spirogyren prüfte, ein negatives Resultat; er rief keinerlei Veränderung hervor. Hingegen erhielt ich an Schneebeerenzellen durch Kalk eine Granulation im Protoplasma, sowohl in dem wandständigen als dem inneren um den Zellkern herum gelegenen.

Die ausgeschiedenen Körnchen färbten sich mit alkalischer Silberlösung 1:100000 tiefschwarz. Letztere Reaction ist, wie schon aus dem bisherigen hervorgeht immer zu machen, wenn man über die Natur der Körnchen entscheiden will. Dass durch Kalk auch andere Stoffe in den Zellen, besonders dem Zellsaft, ausgeschieden werden können, ist klar; man braucht sich nur an die in den Zellen auftretende Kohlensäure und Oxalsäure zu erinnern, die beide mit Kalk unlösliche Verbindungen eingehen.

Aminbasen: Bei Substitution des Wasserstoffs im Ammoniak (NH_3) durch organische Radicale wie CH_3 oder C_2H_5 entstehen Stoffe, welche wie das Ammoniak basische Natur besitzen. Solche organische Basen wirken nun auch auf das Protoplasma wie Ammoniak. Ich untersuchte Mono-, Di- und Triaethylamin [$NH_2.C_2H_5$, $NH(C_2H_5)_2$ und $N(C_2H_5)_3$], ferner das Tetraaethylammoniumhydroxyd [$N(C_2H_5)_4.OH$], welches dem Ammoniumhydroxyd $NH_4.OH$ entspricht. Diese Stoffe bewirken die Granulation des activen Albumins in ebenso ausgezeichneter Weise wie das Ammoniak selbst, und zwar sowohl als freie Basen wie in Salzverbindungen — ganz wie bei Ammoniak.

Lässt man 1 p. mille Lösung von salzsaurem Monoaethylamin

in Wasser auf kräftig vegetirende Fäden der Sp. maxima einwirken, so zeigt sich erst nach längerer Zeit (wahrscheinlich, weil das Salz von dem Protoplasma erst gespalten werden muss) eine sichtbare Veränderung. Nach zweistündigem Aufenthalt in der Lösung zeigte sich bei meinen Versuchen noch nichts Auffälliges, nach 5 Stunden waren in manchen Zellen Kern und Chlorophyllbänder geschädigt, aus dem Zellsaft hatten sich da und dort schon reichlich Körnchen ausgeschieden; der Turgor war noch an allen Fäden vorhanden. Nach 20 Stunden war nur noch etwa die Hälfte der Zellen am Leben, die übrigen zeigten starke Contraction des Plasmaschlauches und und reichliche Granulation. Aehnliche Resultate erhielt ich mit 1 p. mille — Lösungen von salzsaurem Diaethylamin und salzsaurem Triaethylamin. Einprocentige Lösungen dieser 3 Salze bewirkten annähernd dasselbe, nur viel rascher. Mit alkalischer Silberlösung 1:100000 trat eine intensive Schwärzung der reichlich ausgeschiedenen Körnchen in allen Fällen auf.

Einprocentige wässerige Lösung der freien Base Tetraaethylammoniumhydroxyd bewirkt bei Sp. maxima fast momentan reichliche Körnchenausscheidung im Protoplasma, seltener im Zellsaft. Die Chlorophyllbänder lösen sich dabei häufig von der Wand ab, quellen auf, verlieren ihre Randzacken und sterben offenbar ab. Fig. 8 und 9 stellen die Wirkung dieser Lösung an zwei etwas verschieden afficirten Zellen dar. Die Zelle der Fig. 8 ist von oben gesehen und lässt Granulation im wandständigen Protoplasma nach dessen ganzer Flächenausdehnung sowie den Zerfall des Chlorophyllapparates in zwei unförmliche an verschiedenen Zellenden liegende Massen erkennen. Fig. 9 zeigt eine Zelle bei Einstellung auf die Zellmitte; die Chlorophyllbänder sind abgelöst, aber noch jedes für sich zu erkennen, ohne erhebliche Quellung, ohne Randzacken; im wandständigen Protoplasma ist Granulation eingetreten, der Kern ist nicht sichtbar.

Dass die Salze der Aminbasen Körnchenbildung hauptsächlich im Zellsaft bewirken, während die freie Base Tetraaethylammoniumhydroxyd solche besonders im Plasma veranlasst, bleibt vorläufig eine dunkle Thatsache, über deren Grund man nur Vermuthungen haben kann. Erwähnenswerth ist vielleicht noch, dass bei einem späteren Versuch mit etwas stärker verdünnter Lösung von Tetra-

aethylammoniumhydroxyd von 2 in derselben Cultur gewachsenen Spirogyrenarten, Sp. maxima und orthospira, die letztere 2 Stunden lang absolut unverändert blieb, während bei maxima schon nach 1/4 Stunde Körnchenbildung zu bemerken war.

Dass im Uebrigen vorhin genannter Unterschied in der Wirkung der Salze und der freien Basen kein durchgreifender ist, zeigt Fig. 10, welche zwei Zellen nach 24stündigem Liegen in 1 procentiger Lösung von salzsaurem Triaethylamin und darauffolgendem Silberbad darstellt. Durch das lange Liegen in 1 procentiger Lösung von salzsaurem Triaethylamin waren sämmtliche Zellen unter Granulation abgestorben. In der einen von beiden (der oberen in der Figur) ist Granulation im gesammten Protoplasma eingetreten, in Folge dessen dasselbe nun eine einzige schwarze Masse darstellt. In der anderen ist auch Körnchenbildung im Plasmaschlauch und demgemäss Schwärzung aufgetreten; doch zeigt letztere eine eigenthümliche Anordnung, welche an den Verlauf und die Zackung der Chlorophyllbänder erinnert.

Diamid d. i. Hydrazin. In letzter Zeit ist von Curtius der schon früher hypothetisch angenommene Stoff $NH_2—NH_2$, das Diamid oder Hydrazin, dargestellt worden, welches ein verdoppeltes Ammoniak darstellt. Wenn auch das freie Diamid wegen seiner Zersetzlichkeit bis jetzt noch nicht dargestellt wurde, so sind doch dessen Salze krystallinisch erhalten worden. Das Sulfat desselben stand mir durch die Güte des Herrn Dr. Curtius bei meinen Versuchen zu Gebote und konnte ich mit demselben die Körnchenbildung in lebendem Protoplasma ebenso erhalten wie mit freiem Ammoniak und Ammoniaksalzen. Nur ist darauf Rücksicht zu nehmen, dass Diamid die Zellen verhätnissmässig leicht schädigt. Man muss also, um die mit dem lebenden Zustande in engem Zusammenhang stehende Körnchenbildung zu erhalten, resistente Objecte auswählen und die Lösungen ziemlich stark verdünnt nehmen. Ein Vergleich zwischen 1 p. mille Ammonsulfat und dem Sulfat des Diamids zeigte, dass ersteres die eben zu Gebote stehenden Spirogyren innerhalb 18 Stunden nicht wesentlich schädigte, während durch letzteres in derselben Zeit alle Zellen getödtet wurden. Bei einem späteren Versuch mit Sp. maxima und orthospira erhielt ich Wirkungen, wie sie Fig. 11 darstellt. Das äussere Plasma war stark granulirt, der

Chlorophyllapparat stark verfärbt und zusammengekneuelt; die Fäden hatten nach $^1/_4$-stündigem Aufenthalt in der Lösung noch Turgor.

Dass Hydroxylamin (NH_2OH) Granulation im lebenden Spirogyren-Protoplasma hervorruft und dass die ausgeschiedenen Körnchen starkes Silberabscheidungsvermögen besitzen, ist von O. Loew vor mehreren Jahren beobachtet worden [1]) bei vergleichenden Versuchen zwischen Ammoniak und Hydroxylamin.

Strychnin. Da die Alkaloide organische Stoffe von basischem Character sind, untersuchte ich auch einige derselben mit Rücksicht auf die erwähnte Protoplasmareaction [2]). Bei Anwendung freien Strychnins begegnet man der Schwierigkeit, dass die freie Base nur sehr schwierig sich in Wasser löst. Doch genügt, wie ich mich überzeugte, schon diese ganz geringe Menge Strychnin, die in die wässerige Lösung übergeht, um die Körnchenausscheidung hervorzurufen. Bei Sp. maxima zeigte sich nach einigen Stunden starke Körnchenbildung im Zellsaft. Um mehr von der freien Strychninbase in Auflösung zu bringen, löste ich dieselbe zuerst in Alkohol und verdünnte dann mit Wasser, erhielt aber mit dieser Lösung keine erhebliche Körnchenbildung und hierauf keine beträchtliche Silberreaction, wahrscheinlich in Folge des schädlichen Einflusses des Alkohols. Bei Verdünnung der betr. Lösung aufs Zehnfache erzielte ich aber starke Körnchenausscheidung und prächtige Silberreaction. Die durch Strychnin hervorgerufenen Körnchen sind schwerer in Salzsäure löslich als die durch Ammoniak entstandenen [3]). Während letztere in 5-procentiger Salzsäure sich leicht auflösen, widerstehen erstere dieser Säure längere Zeit, lösen sich jedoch sogleich in 10-procentiger Salzsäure. Auch die spontane Veränderung der Körnchen in dem Sinne eines allmählichen Verlustes des Silberreductionsvermögens scheint bei Strychninalgen erheblich langsamer vor sich zu gehen als bei Ammoniakalgen [4]). Mit Strychninsalzen, z. B. essigsaurem Strychnin ist die Körnchenbildung ebenfalls zu erzielen.

---

1) O. Loew, Pflügers Arch. Bd. XXXII, p. 114.

2) Siehe hierüber auch Loew u. Bokorny, die chemische Kraftquelle im lebenden Protoplasma, p. 73.

3) Verf. in Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XVIII, Heft 2, p. 207.

4) Loew und ich haben schon früher hervorgehoben, dass das Strychnin vom polymerisirten activen Albumin festgehalten wird und umgekehrt.

Chinin: Chininsulfat in verdünnter wässeriger Auflösung ruft fast augenblicklich starke Granulation im Protoplasma hervor; dabei bleibt der Zellkern scheinbar intact, die Fäden behalten ihren Turgor. Die entstandenen Körnchen besitzen starkes Silberreductionsvermögen. In 5-procentiger Salzsäure lösen sie sich fast augenblicklich auf.

Atropin: Freies Atropin in wässeriger ungefähr 1 procentiger Auflösung bewirkte bei Spirogyra maxima und orthospira reichliche Granulation im Protoplasma und Zellsaft. Die Körnchen lagen in Gruppen zusammen, so dass grosse körnchenfreie Zwischenräume übrig blieben. In einzelnen Fällen bemerkte ich auch, dass der Tonoplast sich in ein oder mehreren Kugeln isolirt hatte; auch dieser Theil des Protoplasten steckte dann voll Körnchen. Der Turgor der Fäden blieb trotz eingetretener Körnchenbildung längere Zeit erhalten. In 5 procentiger Salzsäure lösten sich die Körnchen fast augenblicklich auf. Essigsaures Atropin bewirkte ebenfalls Körnchenbildung.

Veratrin: Einprocentige Auflösung von essigsaurem Veratrin bewirkte bei Sp. maxima starke Granulation im Protoplasma und Zellsaft. Mit Veratrin granulirtes Protoplasma wurde durch alkalische Silberlösung 1:100000 total schwarz.

Chinolin: Um mit dem schwerlöslichen freien Chinolin operiren zu können, löste ich Chinolin zuerst in etwas Alkohol und verdünnte dann mit Wasser. Mit solcher Chinolinlösung erhielt ich dann die Körnchenausscheidung an Sp. maxima und orthospira um so besser, je reichlicher ich den Wasserzusatz machte (siehe Strychnin). Sehr schön trat die Granulation ein bei Verdünnung dieser Lösung auf das Verhältniss von etwa 1 Chinolin zu 10000 Theilen Wasser und 24stündiger Einwirkung solcher Lösung.

Wendet man das in Wasser leichter lösliche essigsaure Chinolin an, so erhält man ebenfalls leicht die erwartete Granulation. Fig. 12 stellt eine Spirogyrenzelle dar, welche nach Behandlung mit wässeriger Auflösung von essigsaurem Chinolin in alkalische Silberlösung 1:100000 gebracht worden ist. Die Schwärzung zeigt hierbei merkwürdige Eigenthümlichkeiten: Dem Laufe der Chlorophyllbänder folgend tritt eine Unzahl sehr feiner schwarzer Punkte auf; ausserdem zeigen sich grössere schwarze Körnchen und merkwürdig (wie ineinander geflossene Tropfen) gestaltete grosse schwarze Flecken.

Neben solchen Zellen waren übrigens an dem betr. Präparat viele andere mit der gewöhnlichen Art der Silberreaction (siehe Ammoniak) zu bemerken.

Caffein: Besonders interessant ist die Einwirkung einer wässerigen Caffeinlösung auf lebende Spirogyrenzellen. Wendet man concentrirtere etwa 5procentige Caffeinlösung an, so bilden sich im Zellsaft (siehe Fig. 13) sogleich Hohlkugeln (d. h. Blasen mit Flüssigkeit im Innern) von beträchtlicher aber verschiedener Grösse[1]; sie sind vollkommen rund. Nach der Darstellung, welche de Vries in seinen „plasmolytischen Studien“ giebt, war ich anfänglich geneigt, jene Kugeln als plasmolytische Producte des ursprünglich nur eine grosse Vacuolenwand bildenden Tonoplasten anzusehen. Die Beobachtung aber, dass nach einiger Zeit im Saftraum der grösseren Kugeln kleinere Kügelchen von verschiedener Grösse (Fig. 13) auftreten, ferner die Thatsache, dass durch Verdünnung der Caffeinlösung auf's Zehnfache die Grösse der Kugeln fast auf die der mit Ammoniak und organischen Basen zu erhaltenden Körnchen herabsinkt (siehe Fig. 14), überzeugte mich davon, dass jene Blasenmembranen nichts anderes sind, als Ausscheidungen des im Zellsaft gelösten activen Albumins. Wendet man die Caffeinlösung concentrirt an, so schlägt sich das Albumin zunächst in Form mehrerer geschlossener Membranen um gewisse Theile des eiweisshaltenden Zellsaftes nieder; indem die Caffeinlösung nun durch diese Niederschlagsmembranen allmählich in's Innere dringt, findet Ausscheidung des innerhalb befindlichen activen Albumins statt und zwar wieder in Form von Membranen — aber diesmal um kleinere Flüssigkeitströpfchen. Die Bildung kleinerer Bläschen allein wird erreicht, wenn man 0,5procentige Caffeinlösung, also 10fach verdünnte, auf lebende Spirogyrenzellen einwirken lässt[2]. Dass die ausgeschiedenen Kugeln mit alkalischer Silberlösung 1:100000 total schwarz werden, zeigt Fig. 15.

---

1) Als Versuchsobjecte dienten Sp. maxima und orthospira.

2) Die angegebenen Concentrationen können natürlich nicht als absolut einzuhaltende bezeichnet werden. Es ist ja sehr wohl möglich, dass man bei andern Spirogyra-Arten andere Concentrationen anwenden muss, um grosse und kleine Kugeln zu erhalten. Die Bildung grosser Blasen mit kleinen Bläschen im Innern tritt verhältnismässig schwierig ein. Mitunter machen die ausgeschiedenen Kugeln den Eindruck, als schlössen sie keinen Saftraum in sich. Sind die Sp. in starkem Wachsthum begriffen, so treten jene Ausscheidungen mit Caffeinlösung überhaupt nicht auf, weil der Zellsaft kein Eiweis enthält. Im Frühjahr und Sommer wird man daher diese Reaction oft vergebens zu bekommen suchen.

Aus dieser Beobachtung über die Ausscheidung des activen Albumins aus dem Zellsaft durch Caffein könnte nun wohl auch geschlossen werden, dass die bis jetzt als Körnchen bezeichneten Ausscheidungen eigentlich ebenfalls kleine Bläschen sind mit einer Wand von verdichtetem activem Albumin.

Interessant ist jedenfalls die durch Caffeinlösung bewirkte Ausscheidung activen Albumins aus dem Zellsaft in Form von Membranen, welche äusserlich mit den Wandungen der von Vries beobachteten isolirten Vacuolen eine nicht zu verkennende Aehnlichkeit haben. Bezüglich der Resistenz, die Vries von den Vacuolenwänden so sehr hervorhebt, fällt hier auch eine gewisse Uebereinstimmung auf. — Weitere Studien darüber sind vorbehalten.

Im Anschluss an vorstehende Mittheilungen seien noch einige Beobachtungen über die Wirkung isomerer stickstoffhaltiger organischer Stoffe auf das lebende Protoplasma berichtet.

Ortho- und Paratoluidin, welche beiden Stoffe mir durch die Güte des Herrn Prof. Dr. O. Fischer aus dem Erlanger Universitätslaboratorium zur Verfügung standen, sind Amidoderivate des Toluols, welche sich nur durch die verschiedenartige Stellung der Amidgruppe (NH_2) im Molecül unterscheiden; beide besitzen basische Eigenschaften. Letzteres zeigt sich auch bei Anwendung der Stoffe auf lebendes Protoplasma sofort durch intensive Körnchenausscheidung.

Beide Stoffe schädigen allmählich die lebenden Zellen, wenn sie nur in einiger Concentration angewendet werden. Unzweifelhafte Unterschiede in der schädigenden Einwirkung beider konnte ich nicht constatiren. Hingegen stellte sich ein erheblicher Unterschied heraus zwischen Ortho- und Paratoluidin einerseits und Toluylendiamin andrerseits; letzteres enthält 2 Amidogruppen im Molekül, während erstere nur eine haben. Als ich Spirogyren in Lösungen 1:5000 von den 3 genannten Stoffen brachte, zeigte sich nach 15 Stunden nirgends irgend welche Störung der lebenden Zellen, nach 48 Stunden war es mit den in Ortho- und Paratoluidin gelegenen Algen noch ebenso, die in Toluylendiamin gewesenen waren abgestorben.

Amarin und Hydrobenzamid. Auch diese beiden Stoffe sind isomer und unterscheiden sich durch die verschiedenartige Bindung des Stickstoffes. Im Amarin ist der Stickstoff zum Theil an Wasserstoff gebunden, im Hydrobenzamid nur an Kohlenstoff. Zwischen beiden stellte sich nun ein sehr auffälliger Unterschied bezüglich der Wirkung auf lebende Zellen heraus[1]). Spirogyrenzellen starben in Amarinlösung innerhalb 2 Tagen völlig ab unter beträchtlicher Körnchenausscheidung, während die in Hydrobenzamid ebensolang gelegenen gänzlich ungeschädigt sich erwiesen. Denselben Unterschied ergaben Versuche mit Cladophora setacea; nach 4 Tagen in Amarin waren alle Fäden abgestorben, in Hydrobenzamid alle lebendig.

Erlangen im Dezember 1887.

Figuren-Erklärung.

Tafel V.

Fig. 1. Kräftig vegetirende Spirogyrenzelle, lebend in verdünntes Ammoniak (1:500) gebracht und nach 5 Minuten langem Aufenthalt abgezeichnet. Aus dem Protoplasma haben sich reichlich Körnchen ausgeschieden unter starker Dunklung desselben. Vergr. 1:300.

Fig. 2. Spirogyra mit Zuckerlösung behandelt und dann in verdünntes Ammoniak (1:1000) gebracht. Der Plasmaschlauch ist lebendig, wie aus seinem Turgor hervorgeht, und zeigt dabei massenhafte Körnchenbildung. Vergr. 1:300.

Fig. 3. Plasmaschlauch durch Zuckerlösung contrahirt, dann mit verdünnter Schwefelsäure getödtet und nun mit verdünntem Ammoniak behandelt. Die Körnchenbildung ist unterblieben. Vergr. 1:300.

Fig. 4. Spirogyrenzelle mit 10 pCt. Salpeterlösung und dann mit verdünntem Ammoniak (1:350) behandelt. Das äussere Plasma mit Chlorophyllband ist durch die Salpeterlösung getödtet worden und hat keine Körnchenbildung ergeben; der Tonoplast (die Grenzschicht des Plasmas gegen den Zellsaft hin) hat sich zu 2 straff gespannten Hohlkugeln formirt, und zeigt, weil noch lebend, Körnchenbildung. Vergr. 1:300.

Fig. 5. Spirogyrenzelle nach der Behandlung mit verd. Ammoniak (siehe Fig. 1) 12 Stunden in alkalische Silberlösung von der Verdünnung 1:100000 gebracht und dann abgebildet. Die sämmtlichen Körnchen sind tiefschwarz geworden, können aber nicht mehr einzeln unterschieden werden. Vergr. 1:300.

Fig. 6. Zwei Spirogyrenzellen nach 10 Min. langer Einwirkung einer Ammoniaklösung von 1:20000, die eine bei hoher, die andere bei etwas tieferer

---

1) Siehe hierüber auch O. Loew in Pflügers Archiv, Bd. XXXX, p. 440.

Einstellung gesehen. Beide Zellen zeigen noch völlig normales Aussehen, nur dass im wandständigen Plasma sich Körnchen ausgeschieden haben. Zwischen diesen Körnchen liegen beträchtliche Partien nicht granulirten Plasmas. Vergr. 1 : 750.

Fig. 7. a) Spirogyrenzelle, in deren Zellsaft actives Albumin gelöst war und durch verd. Ammoniak ausgeschieden wurde. Diese Körnchen haben sich der Schwere gemäss nach der gerade am tiefsten liegenden Stelle abgesetzt. b) Zelle ebenso behandelt wie in a und dann in alkalische Silberlösung von 1 : 100 000 gebracht. Der contrahirte Plasmaschlauch ist schwarz geworden, desgleichen die aus demselben (durch irgend einen Riss) herausgedrungenen Körnchen des Zellsaftes. Vergr. 1 : 300.

Fig. 8. Zelle von oben gesehen. Granulation im wandständigen Protoplasma, hervorgerufen durch verd. Lösung von Tetraaethylammoniumhydroxyd. Der Chlorophyllapparat hat sich abgelöst und liegt in 2 Theilen im Innern der Zelle. Vergr. 1 : 300.

Fig. 9. Ebenso (wie in 8) behandelte Spirogyrenzelle, bei tieferer Einstellung gesehen. Vergr. 1 : 300.

Fig. 10. Zwei Zellen der Spirogyra maxima nach 24-stündigem Liegen in 1-procentiger Lösung von salzsaurem Triaethylamin der mehrstündigen Einwirkung von verdünnter alkalischer Silberlösung (1 : 100 000) ausgesetzt — beide Zellen nur zur Hälfte abgebildet. In der einen ist das gesammte Plasma von ausgeschiedenem Silber schwarz; in der andern nur ein Theil, wobei die schwarzen Stellen einen sehr merkwürdigen Verlauf zeigen. Vergr. 1 : 750.

Fig. 11. Spirogyrenzelle mit verd. Lösung von Diamid-Sulfat behandelt. Das wandständige farblose Plasma ist granulirt; der Chlorophyllapparat mit dem Zellkern liegt als Knäuel in einer Ecke. Zellen bei tiefer Einstellung gesehen. Vergr. 1 : 300.

Fig. 12. Stück einer Zelle von Spirogyra maxima, welche zuerst in 1-procentige Lösung von essigsaurem Chinolin, dann in sehr verdünnte alkalische Silberlösung (1 : 100 000) gelegt wurde. Die Schwärzung tritt im wandständigen Protoplasma in sehr kleinen bandartig angeordneten Punkten und grösseren Punkten sowie eigenthümlich gestalteten Flecken auf. Zelle bei hoher Einstellung gesehen. Vergr. 1 : 750.

Fig. 13. Lebende Zellen mit 5procentiger wässeriger Caffeinlösung behandelt. Im Zellsaft liegen zahlreiche Hohlkugeln (straffgespannte Blasen) von verschiedener Grösse. In denselben kleinere Kügelchen. Bei tiefer Einstellung gesehen. Vergr. 1 : 300.

Fig. 14. Lebende Spirogyrenzellen mit 0,5procentiger Caffeinlösung behandelt. Im Zellsaft zahlreiche kleine, in Grösse unter sich verschiedene Kügelchen. — Bei tiefer Einstellung gesehen. Vergr. 1 : 300.

Fig. 15. Zellen von der in Fig. 13 angegebenen Beschaffenheit mit sehr verdünnter alkalischer Silberlösung (1 : 100 000) behandelt. Vergr. 1 : 400.

Fig. 16. Spitze eines Wurzelhaares von Trianea bogotensis, nach Behandlung mit 1procentigem Ammon, bei tiefer Einstellung gesehen. Körnchenausscheidung. Vergr. 1 : 300.

Untersuchungen über den Stoff- und Kraft-Umsatz im Athmungsprocess der Pflanze.

Von

Dr. H. Rodewald.

Hierzu Tafel VI.

Einleitung.

In einer Abhandlung: „Quantitative Untersuchungen über die Wärme- und Kohlensäure-Abgabe athmender Pflanzentheile“ [1]) habe ich eine Methode beschrieben, welche gestattet, neben der Kohlensäure auch die von athmenden Früchten oder anderen geeigneten Objecten abgegebenen Wärmequantitäten zu messen. Am Schlusse der Abhandlung habe ich darauf hingewiesen, dass zur Klarlegung der Beziehungen zwischen Stoff- und Wärme-Umsatz im pflanzlichen Athmungsprocess neben den genannten Grössen noch der aufgenommene Sauerstoff mit bestimmt werden müsse und dass ich Untersuchungen der Art eingeleitet hätte. Es ist der Zweck nachfolgender Zeilen über diese Untersuchung Bericht zu erstatten.

Die vorliegende Abhandlung zerfällt in vier Abschnitte, wovon der erste die Wärmemessungen, die dazu nöthigen Apparate und ihre Constanten sowie die Berechnung der entwickelten Wärme aus den gemessenen Grössen behandelt.

Der zweite Abschnitt giebt die Kohlensäure- und Sauerstoff-Bestimmungsmethode und Controlversuche.

Im dritten Abschnitt habe ich die Daten der einzelnen physiologischen Versuche zusammengestellt und berechnet.

---

1) Pringsheim's Jahrbücher, Bd. XVIII, p. 263.

Der vierte Abschnitt bespricht die Resultate. Ausserdem ist hier eine chemische Untersuchung eingeschaltet, deren Zweck war, das Kohlenhydrat zu ermitteln, welches der Hauptmenge nach in den untersuchten Objecten (Kohlrabi) vorkommt.

Die Tafel ist nach Photgraphien gezeichnet. Für die Herstellung der letzteren hatte mir Herr Prof. Dr. Hensen seine photographischen Apparate in dankenswerther Weise zur Verfügung gestellt.

I. Abschnitt.

Die Wärmemessungen.

In meiner erwähnten Abhandlung habe ich nachgewiesen, dass die von einem pflanzlichen Object durch die Stoffwechselprocesse entwickelte Wärme sich für die Zeiteinheit durch die Gleichung

$$x = (c\tau \pm r)\,C + wl$$

darstellen lässt, in welcher Gleichung

- x die gesuchte Wärme
- c eine Constante
- τ die Temperaturdifferenz zwischen Object und Umgebung
- r die Temperaturveränderung der Umgebung in der Zeiteinheit
- C die Wärmecapacität des Objects
- w die vom Object in der Zeiteinheit verdunstete Menge Wasser
- l die Verdampfungswärme des Wassers

bedeutet. Dabei gilt das + Vorzeichen für steigende, das — für fallende Temperatur.

Die Constante c liess sich aus der Abkühlungsgeschwindigkeit bestimmen und war gegeben durch die Gleichung

$$c = \log \text{nat.} \frac{\tau_0 - \left(\frac{s}{c} - \frac{wl}{Cc} \pm \frac{r}{c}\right)}{\tau_n - \left(\frac{s}{c} - \frac{wl}{Cc} \pm \frac{r}{c}\right)}$$

In dieser Gleichung bedeutet τ_0 die Temperaturdifferenz zwischen Object und Umgebung zur Zeit 0, τ_n dieselbe zur Zeit 1.

Ich habe die Wärmemessungen nach denselben Principien, auf welchen die obigen Gleichungen beruhen, ausgeführt und Aenderungen in den Einzelheiten nur soweit vorgenommen, als es die Anwendung feinerer Messungsmethoden erfordern.

Die Bestimmung von τ und c wurde wiederum mittelst Galvanometer und Thermoelementen vorgenommen. Für die Bestimmung von τ während des constanten Zustandes ist eine möglichst feine Temperaturmessung günstig, während man bei der Bestimmung von c hierin leicht zuweit gehen kann. Denn je feiner die Temperaturmessungen werden, je geringer ist das Temperaturintervall, welches die Messungsapparate umfassen.

Die Grösse $\frac{s}{c} - \frac{wl}{cC} \pm \frac{r}{c}$ in vorstehender Gleichung wird durch den Versuch bestimmt unter der Voraussetzung, dass s und c für längere Zeit sich gleich bleiben, eine Voraussetzung, welche mit absoluter Genauigkeit niemals zutreffen wird. Deshalb ist es vortheilhaft, τ_0 so zu wählen, dass jener Subtrahend gegen τ_0 möglichst klein wird. Dies kann aber nur geschehen, wenn die Messungsapparate ein grosses Temperaturintervall umfassen.

Aus diesen Gründen war es nöthig, das Galvanometer für verschiedene Empfindlichkeit einzurichten, was durch Veränderung der Astasie leicht geschehen kann.

Das von mir benutzte Galvanometer ist auf Tafel VI Fig. 1 abgebildet. Der Rahmen A, auf welchem der 1 mm dicke Draht aufgewickelt ist, besteht aus geschwärztem Messingblech. Die Säule s ist hohl und durch die Windungen hindurch geführt. Sie dient zur Aufnahme des Coconfadens, welcher den Spiegel und den Magneten trägt. Der Faden ist an dem Wirbel des Kopfes k der Säule befestigt und kann durch Drehen desselben verlängert und verkürzt werden. Der Kopf gestattet ausserdem noch eine Drehung um die Verticalachse der Säule, so dass dadurch die Torsion des Fadens abgespannt werden kann. m und n sind Schlitten, welche auf den Linialen, die als Träger dienen, verschiebbar sind und durch Stellschrauben an jedem Ort befestigt werden können. Diese Schlitten tragen je einen Magnetstab. Die beiden Magnete dienen als Astaten. Durch grössere Annäherung an die Rolle wird die Nadel empfindlicher, durch Vergrösserung des Abstandes unempfindlicher.

Von dem Coconfaden getragen hängt in der Mitte des von den Drahtwindungen umschlossenen Hohlraumes ein dünner Magnetstab, unter welchem ein kleiner, sehr leichter Glasspiegel mittelst Kitt befestigt ist. Von hinten lässt sich in den Hohlraum ein Stück aus Rothguss schieben, welches so geformt ist, dass es den Hohlraum vollständig ausfüllt mit Ausnahme der vorderen unteren Hälfte, durch welche der Spiegel sichtbar ist. Dieses Stück aus Rothguss dient als Dämpfung. In der Figur ist bei d ein Theil davon sichtbar. Es muss so gearbeitet sein, dass es den Coconfaden beim Einschieben nicht berührt und den Magneten mit dem Spiegel freien Spielraum gestattet. Im Uebrigen muss es den zur Verfügung stehenden Raum möglichst vollständig ausfüllen.

Als Magnet benutzte ich zuerst ein Stück von einer Uhrfeder, welches magnetisirt war (Nadel I). Später ersetzte ich diese Nadel durch eine andere sehr kleine, welche glashart gemacht war. Dieselbe war 0,5 mm breit, 0,25 mm dick und 20 mm lang. Den Stahl dazu hatte ich von einer Laubsäge genommen. Beim Härten verziehen sich solche kleinen Stahlstreifen sehr leicht, wenn man sie nicht gleichmässig heiss macht und beim Ablöschen in Wasser Sorge trägt, dass alle Theile möglichst gleichzeitig mit der Wasseroberfläche in Berührung kommen. War die Nadel hell rothglühend, so ist sie nach dem Ablöschen durch ihre ganze Masse so hart, dass man sie in einem Mörser zu Pulver zerstossen kann. Die letzte Nadel sei mit No. II bezeichnet.

Die astasirenden Magnete waren ebenfalls aus glashartem Stahl und diese sowohl als auch die Nadel wurden nach dem Magnetisiren in kochendem Wasser bis auf 100° erwärmt und durch Eintauchen in kaltes Wasser wieder abgekühlt. Das letztere Verfahren wurde etwa 50 mal wiederholt und hatte den Zweck, die Magnete gegen Temperaturschwankungen unempfindlich zu machen [1]).

Die obere Kante des Spiegels, auf welcher der Magnet festgekittet war, ist durchbohrt, um den Coconfaden befestigen zu können. Das Gewicht des ganzen Systems muss so vertheilt sein, dass die Nadel wagerecht liegt, wenn der Spiegel mit der Nadel an dem Coconfaden aufgehängt ist, eventuell lässt sich durch einen Tropfen

1) Wiedemann, Galvanismus. 2. Aufl. Bd. 2. 1874. p. 603 und folgende.

Wachskitt, den man auf der Rückseite des Spiegels anbringt, das Gleichgewicht herstellen. Der Coconfaden war ein einfacher, aus ungedrehter Seide entnommener Faden, der eine Länge von 60 mm hatte. Früher habe ich einen Coconfaden von nur 4 mm Länge gebraucht, aber auch die Erfahrung gemacht, dass durch die Torsion dieses Fadens die Empfindlichkeit des Instrumentes begrenzt wurde. Da ich mit dem neuen Instrument die Empfindlichkeit nur 3 bis 4 mal steigern wollte, so war der Faden mit 60 mm jedenfalls reichlich lang genug. Um den Coconfaden einzuziehen, schiebt man von oben einen dünnen Draht durch die Säule s des Galvanometers, nachdem die Dämpfung d herausgezogen ist. An diesem Draht befestigt man mittelst Wachskitt das freie Ende des Fadens, legt den Spiegel, an welchem das andere Ende des Fadens festgemacht ist, in die Rolle und zieht den Draht und mit ihm den Faden oben aus der Säule heraus, dann befestigt man den Faden an den Wirbel, schneidet das überflüssige Ende ab und stellt durch Drehen des Wirbels die richtige Länge des Fadens her, so dass der Spiegel eben schwebt. Darauf schiebt man die Dämpfung ein.

Das Galvanometer muss horizontal gestellt werden und so gearbeitet sein, dass der Faden in der Achse der Säule liegt und nicht anschlägt, wenn jene Bedingung erfüllt ist.

Als Thermoelemente habe ich dieselbe Combination wie früher verwandt: Drähte aus Neusilber und Eisen, 0,65 mm dick, 46 mm lang, 12 Paar Löthstellen. Beim Feststellen der Constanten bin ich aber wesentlich vorsichtiger zu Werke gegangen. Ich habe mir zunächst 2 Thermoelemente hergestellt, die gleich gearbeitet waren, so dass sie unter denselben Umständen gleiche Galvanometerausschläge gaben. Dies ist garnicht schwer, wenn man nur dieselben Drahtsorten und gleiche Längen sowie die gleiche Zahl Löthstellen verwendet.

Um die Thermoelemente unter einander und mit den Thermometern zu vergleichen, habe ich den Apparat Fig. 2 auf Tafel VI benutzt. Die Thermoelemente wurden genau so eingekittet, wie ich es früher beschrieben habe[1]). Die obere Reihe der Löthstellen befindet sich in dem Cylinder B, welcher mit der ihn nach unten

1) Pringsheim's Jahrbücher, Bd. XVIII, Heft 3, p. 280.

verschliessenden, 12fach durchbohrten Glasplatte auf den Zinkblechstreifen H aufgekittet ist. In die Bohrungen der Glasplatte sind die Drähte des Elements eingekittet und das Zinkblech ist durchbrochen, so dass die untere Reihe der Löthstellen links vom Buchstaben a zum Vorschein kommen. Sie tauchen in einen grossen Wasserbottig A, der bis zum Rande gefüllt ist. Die Temperatur des Wassers wird durch das Thermometer D, welches durch das Horizontalmikroskop F genau abgelesen werden kann, gegeben. Die Vorrichtung I mit dem Mikroskop ist schon früher beschrieben[1]), aber nicht abgebildet. Um die Temperatur des Wassers im Thermostaten A überall gleichmässig zu erhalten, wird der schraubenförmige, bis auf den Boden von A reichende Rührflügel b durch den unter G liegenden Schnurlauf in Rotation versetzt. Als Motor diente ein kleines Wasserrad von 35 cm Durchmesser, welcher nicht mit abgebildet ist und auch nicht weiter beschrieben zu werden braucht. Von dem über G liegenden Schnurlauf wird durch eine Transmission die Bewegung auf einen zweiten Rührflügel, der im Cylinder B liegt, übertragen. Dieser endet unten in einer Spitze, die in einer konischen Ausbohrung der Glasplatte läuft. Im Uebrigen dürfte seine Einrichtung und Wirkung durch die Zeichnung hinlänglich verständlich sein. Der Cylinder B ist mit Wasser gefüllt.

Ich habe früher Oel angewandt, weil es noch weniger leitet als Wasser. Wenn indessen die Drähte gut lackirt sind, braucht man Leitung durch das Wasser nicht zu fürchten und Wasser bietet den Vorzug leichterer Beweglichkeit und grösserer Reinlichkeit. Die Temperatur des Wassers im Cylinder B wird durch das Thermometer C, welches mit dem Mikroskop E abgelesen werden kann, angezeigt. Das Mikroskop hat Mikrometer und neben der Verschiebung für die Einstellung noch einen ausziehbaren Tubus, mittelst dessen die gesammte Tubuslänge, mithin auch die Vergrösserung regulirt werden kann. Man bemisst die Länge des Tubus so, dass ein Theilstrich der Thermometerscala durch die Mikrometertheilung in 10 Theile getheilt wird. Der Halter des Mikroskops dürfte ohne Weiteres verständlich sein, er gestattet die nöthigen Bewegungen, nur will ich noch erwähnen, dass sich rechts vom Buchstaben c eine Stellschraube

1) Ebendas. p. 289.

befindet, welche dazu dient, den ganzen Tubus und somit auch die Mikrometerscala gegen die Thermometerscala zu verschieben, damit man einen Theilstrich der Mikrometerscala mit einem solchen der Thermometerscala zur Deckung bringen kann. Diese Bewegung sollte eigentlich der Richtung des Thermometers parallel erfolgen, was durch die Schraube nicht streng bewirkt wird. Dieselbe verändert auch vielmehr in geringem Masse den Abstand des Objectivs vom Thermometer, was sich aber durch Tubusverschiebung leicht ausgleichen lässt.

Das Thermometer D taucht fast mit der ganzen Länge des Quecksilberfadens unter Wasser, deshalb wird es die Temperatur genau geben. Gegen dieses Thermometer wird das andere (C) verglichen, etweder auf die Weise, dass man beide Thermometer abliesst, wenn das Thermoelement keinen Strom giebt und das Galvanometer auf 0 stehen bleibt, oder auch, indem man den Cylinder B entfernt und das Thermometer C mit einem Kork in dem Zinkblech H befestigt und in den Thermostaten A tauchen lässt. Es darf natürlich nicht tiefer eintauchen als es in B auch thut. Der Halter des Mikroskops lässt sich so verstellen, dass ein ablesen durch E auch dann noch möglich ist, wenn das Thermometer in das grosse Wassergefäss taucht.

Die Mikrometerabsehung der Thermometer giebt hundertstel Grade an, die tausendstel Grade werden geschätzt. Es frägt sich, ob eine so genaue Ablesung noch Vertrauen verdient oder ob nicht vielmehr Fehler der Thermometer grössere Ungenauigkeiten bedingen. Auf diese Frage ist zu antworten, dass, wie später Zahlen darthun werden, die Thermometer genau genug arbeiten, wie eigentlich auch nicht anders zu erwarten ist, denn die Thermometer befinden sich stets unter denselben Bedingungen und von der Röhre wird nur ein sehr kleines Stück gebraucht, so dass die Ungleichheiten derselben kaum in Frage kommen.

Durch die beiden Klemmschrauben d und e kann man das Thermoelement mit dem Galvanometer verbinden. Bei der Aufstellung des letzteren lässt man die astasirenden Magnete m und n zunächst fort und stellt das Instrument ungefähr in die Nord-Süd-Richtung. Alsdann spannt man den Coconfaden soweit an, dass der Spiegel frei schwebt, er stellt sich alsbald in die Richtung des mag-

netischen Meridians. Die Normale zur Spiegelebene steht senkrecht zum Meridian und in dieser Richtung stellt man das Fernrohr mit der Scala so auf, dass das Fadenkreuz auf den Nullpunkt der Scala, welcher mitten unter dem Objectiv des Fernrohrs liegen muss, einsteht. Das Fernrohr steht nun genau in der zum Meridian senkrechten Richtung. Um die Achse der Galvanometerrolle ebenso zu orientiren benutzt man die Glasplatte, welche das Instrument nach vorne verschliesst. Dieselbe spiegelt auf dem dunklen Hintergrund genügend, um im Fernrohr ein Bild der Scala zu erzeugen, wenn man das Fernrohr auf die Bildweite einstellt. Man orientirt nun das Galvanometer so, dass der Nullpunkt dieses Spiegelbildes ebenfalls auf das Fadenkreuz fällt, alsdann steht die Achse der Rolle senkrecht, die Windungen dem Meridian parallel. Nun wird mit Hülfe einer Libelle noch das Instrument horizontal gestellt, damit der Coconfaden die Röhre s nicht berührt. Man sieht es an der Schwingungsdauer des pendelnden Spiegels leicht, ob dies erreicht ist oder nicht.

Die Astasirung der Nadel wird durch Auflegung der Magnete m und n, deren Pollage natürlich gegen die der Nadel umgekehrt sein muss, bewirkt. Sobald die Astasie durch Verschieben der Magnete gegen die Rolle erheblich wird, tritt eine starke Abweichung des Spiegel von der Nulllage ein, die ihren Grund zum grössten Theil in der vergrösserten Declination, theilweise aber auch in starker Tordirung des Coconfadens haben kann. Die Torsirung spannt man möglichst durch Drehen des Kopfes k ab, wobei man bedenkt, dass die Torsion des Fadens um so geringer ist, je weniger sich der Spiegel durch eine geringe Drehung verschiebt. Die Verschiebung des Nullpunktes gleicht man durch Verschieben der Scala aus. Letztere ist aus Papier und zweckmässig auf einem Holzstab festgeklebt. Sie liegt auf einem besonderen Halter am Fernrohrstativ unter dem Fernrohr und lässt sich nach rechts und links verschieben sowie hoch und tief stellen. Das Fernrohr muss sich am Stativ ebenfalls hoch und tief stellen lassen und eine drehende Bewegung in vertikaler und horizontaler Ebene gestatten.

Beim Bestimmen der Constanten sind dieselben Vorsichtsmaassregeln erforderlich, die bei meinen früheren Untersuchungen angegeben sind.

Die Intensitätskurve ist in dem von mir gebrauchten Intervall, d. h. bis zu einem Ausschlag von 500 Scalentheilen bei einem Abstand des Spiegels von der Scala = 1,7 m, durchaus gradlinig. Gerade hierüber habe ich monatelang Beobachtungen angestellt. Ich halte es für überflüssig alle diese Beobachtungen zu veröffentlichen, da sich das Factum auch aus einer Reihe von Zahlen ergiebt, welche nothwendig mit veröffentlicht werden müssen. Hier will ich nur ein Beispiel anführen, welches die ausgesprochene Thatsache allein schon genügend beweist.

Thermometerstände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
21,800		
21,590		
0,210	95	0,00221
21,828		
21,587		
0,241	108	0,00223
22,290		
21,585		
0,705	322	0,00219
22,265		
21,585		
0,680	307	0,00221
22,228		
21,733		
0,895	401	0,00223
22,690		
21,730		
0,960	433	0,00222

Man sieht, dass, wenn der Ausschlag des Galvanometers von 95 bis auf 433 Scalentheile steigt, der Quotient aus der Temperaturdifferenz der Löthstellen und den dazugehörigen Scalentheilen stets so nahe derselben bleibt, als sich überhaupt erwarten lässt. Jene Messungen wurden am 15. Juli vormittags mit der Nadel II hinter einander ausgeführt. Ich machte indessen bald die Erfahrung, dass zu anderer Zeit ein anderer Werth für einen Scalentheil erhalten

wurde, insbesondere fand ich, dass der Werth vormittags am kleinsten, abends aber, je nach der Stärke der Astasie 1 bis 10 % grösser war. Hierfür zunächst einige Zahlen.

20. Juni Nachmittags.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
19,038		
18,460		
0,578	354	0,00163
19,242		
18,480		
0,762	470	0,00162
19,060		
18,494		
0,566	342	0,00165
19,025		
18,495		
0,530	320	0,00166
18,940		
18,510		
0,430	266	0,00162
18,960		
18,520		
0,440	274	0,00161
		Mittel 0,00163.

21. Juni.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
16,700[1])		
17,163		
0,363	282	0,00164

1) Der oben stehende Werth ist stets vom Thermometer C angezeigt. Die Stromrichtung war hier also umgekehrt.

Thermometerstände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
16,730		
17,153		
0,423	257	0,00165
16,840		
17,135		
0,295	172	0,00171
	Mittel	0,00166.

22. Juni.

Thermometerstände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
17,485		
17,120		
0,365	225	0,00162
17,804		
17,125		
0,679	417	0,00163
17,776		
17,130		
0,646	397	0,00163
17,846		
17,135		
0,711	440	0,00162
17,800		
17,138		
0,662	410	0,00161
	Mittel	0,00162.

Während dreier Tagen war, wie die Zahlen zeigen, der Werth ziemlich constant. Die grösste Abweichung der Mittelwerthe beträgt nur 2,5 %. An anderen Tagen waren aber die Abweichungen grösser, wie die nachstehenden Zahlen, die bei derselben Galvanometeraufstellung aber mit einem anderen (übrigens dem ersten vollständig gleichen) Thermoelement gewonnen wurden, zeigen sollen.

24. Juni.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
18,780		
18,325		
0,455	280	0,00163
18,820		
18,330		
0,490	301	0,00163
18,845		
18,340		
0,505	313	0,00161
	Mittel	0,00162

27. Juni.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
19,020		
18,746		
0,274	154	0,00178
19,080		
18,750		
0,330	193	0,00171
19,240		
18,755		
0,485	279	0,00174
19,390		
18,765		
0,625	366	0,00171
19,480		
18,765		
0,715	407	0,00176
19,620		
18,782		
0,838	484	0,00173
19,633		
18,783		
0,850	495	0,00172

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
19,640		
18,785		
0,855	500	0,00171
		Mittel 0,00173

28. Juni.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
17,610		
18,278		
0,668	377	0,00177
17,650		
18,273		
0,623	349	0,00179
		Mittel 0,00178.

Obgleich während der Beobachtungszeit keine Veränderungen am Galvanometer stattgefunden hatten, weichen die Mittelwerthe vom 24. und vom 28. Juni um 9,9 pCt. von einander ab.

Die Werthe vom 27. Juni documentiren noch einmal, dass der Galvanometerausschlag direkt der Temperaturdifferenz der Löthstellen proportional gesetzt werden konnte.

Die hier angeführten Bestimmungen ergaben eine mit der Zeit erfolgende Vergrösserung der Constanten, das Galvanometer wurde also unempfindlicher; spätere Beobachtungen aber zeigten, dass oft auch der umgekehrte Gang eintritt, und das Instrument mit der Zeit empfindlicher wurde. Auch hierfür nur ein Beispiel.

7. Juli Abends.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
18,176		
17,646		
0,530	278	0,00191
18,148		
17,646		
0,502	260	0,00193

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
18,330		
17,645		
0,685	354	0,00194
18,240		
17,640		
0,630	318	0,00190
18,190		
17,638		
0,552	279	0,00198
		Mittel 0,00193.

8. Juli.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
16,450		
16,925		
0,475	280	0,00170
16,455		
16,918		
0,463	267	0,00168
16,454		
16,910		
0,456	272	0,00168
16,444		
16,905		
0,461	275	0,00168
16,440		
16,900		
0,460	280	0,00164
		Mittel 0,00168.

Hier hatte der Werth also von einem Abend bis zum anderen Vormittag um 14,9 % abgenommen oder die Empfindlichkeit war um ebensoviele % gestiegen.

Ich hatte zuerst geglaubt, dass die Abnahme der Empfindlichkeit in einer Abnahme des Magnetismus der Stäbe seinen Grund hatte, nach diesen letzten Erfahrungen aber war diese Annahme

nicht mehr haltbar. Da die Declinationsänderung bei den vorstehenden Messungen mit berücksichtigt wurde, so liessen sich diese Abweichungen nur noch auf Aenderung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus zurückführen.

Betrachtet man aber die Tabellen, welche uns von den erdmagnetischen Beobachtungsstationen über die Variationen der horizontalen Intensität geliefert werden, so findet man, dass die Schwankungen der Zahlen procentisch viel geringer sind, als die von mir gefundenen Abweichungen. So z. B. war der niedrigste Werth, den die horizontale Intensität im August 1887 nach Bestimmungen der erdmagnetischen Station in Lübeck[1]) erreichte, 1,7718 (9. August 0 h. 57 m.), der höchste Werth aber 1,7838 (19. Aug. 8 h. 57 m.), mithin betrug die grösste Zunahme im August nur ca. 0,7 $^0/_0$, während bei meinen Bestimmungen in wenigen Tagen die Constante ca. 15 $^0/_0$ zunahm. Dies hat nun seinen Grund in der Anwendung der astasirenden Magnete (Hauy'schen Stäbe), wie sich aus der Gleichgewichtsbedingung der Magnetnadel ergiebt.

Wir wollen, um die Gleichung aufstellen zu können, Bezeichnungen für die mitwirkenden Kräfte einführen. Es bedeute

M das magnetische Moment der Nadel,
J die horizontale Intensität des Erdmagnetismus,
$\pm$ i die Variation von J,
P die magnetische Kraft, welche die Rolle auf die Nadel ausübt, wenn sie von einem Strom, dessen Stärke gleich 1 ist, durchflossen wird,
K die aufhebende Wirkung des astasirenden Magneten.

Die Kraft, welche die Nadel im magnetischen Meridian festhält, ist dann $M(J \pm i - K)$. Die Kraft, welche die Nadel abzulenken strebt, ist M P. Da nun der Ausschlag der Nadel innerhalb kleiner Winkel der ablenkenden Kraft direct proportional zu setzen ist, so besteht Gleichgewicht, wenn

$$M P = M(J \pm i - K) k$$

ist, wo k den Ausschlag bedeutet, den die Nadel bei der Stromstärke 1 giebt. Aus dieser Gleichung hebt sich M heraus, woraus

1) Mittheilung der geogr. Gesellschaft in Lübeck von Dr. W. Schaper. Heft 4. 1887. p. 12.

hervorgeht, dass es ganz gleichgültig, wie stark die Nadel magnetisirt ist. Es bleibt die Gleichung

$$P = (J \pm i - K)\,k$$

oder

$$k = \frac{P}{J \pm i - K}$$

Nun sieht man, dass die Ausschläge der Nadel um so grösser werden, je kleiner der Nenner auf der rechten Seite der Gleichung, also je grösser K wird. Mit anderen Worten: die Empfindlichkeit des Instruments nimmt zu mit zunehmender Astasie. Wenn aber $K = J$ wird, so ist der Ausschlag abhängig von i, d. i. von der Variation des Erdmagnetismus und diesem direct proportional. In diesem Falle wird sich also die Constante k einfach verdoppeln, wenn sich die Variation verdoppelt. Der Einfluss der Variation i auf die Constante k wird aber um so geringer sein, je grösser der Nenner $J \pm i - K$, also je kleiner K, wird oder je weniger das Galvanometer astasirt ist.

Um eine Vorstellung davon zu bekommen, wie weit das Galvanometer mit der Nadel I bei den Messungen am 20. Juni und später astasirt war, habe ich die Temperaturconstante des Galvanometers auch bestimmt, nachdem ich die astasirenden Magneten entfernt hatte. Ich will die Messungen hier folgen lassen.

9. Juli.

Thermometerstände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
16,900		
16,490		
0,410	32,5	0,0126
17,016		
16,490		
0,526	41	0,0128
17,617		
16,497		
1,120	88,5	0,0127
18,370		
16,515		
1,855	147	0,0126

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
19,350		
16,525		
2,825	226	0,0125
21,350		
16,535		
4,815	392	0,0123
20,820		
16,545		
4,275	346	0,0124
	Mittel	0,0126

Das Mittel der Bestimmungen vom 8. Juli mittelst des astasirten Instruments betrug 0,00168, die Empfindlichkeit war also um das $\frac{0{,}0126}{0{,}00168} = 7{,}48$-fache durch das Astasiren gesteigert worden. Um ebenso viele mal steigerte sich deshalb auch der Einfluss, den die Variation der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus auf die Constante hatte, worin die Ursache der grossen Schwankungen der Constanten lag.

Es war nun klar, dass man durch Verringerung der Astasie jene Schwankungen der Constanten herabsetzen konnte, gleichzeitig musste aber die Empfindlichkeit dadurch vermindert werden. Für die Construction eines möglichst stabilen und dabei empfindlichen Instruments kommen also dieselben Gesichtspunkte zur Geltung, die man berücksichtigt, wenn man ohne Anwendung von Hauy'schen Stäben ein möglichst empfindliches Instrument herstellen will. Es gelang mir, durch Einführung der Nadel II in meine Rolle die Empfindlichkeit im nicht astasirten Zustand soweit zu steigern, dass ich die letztere durch die Hauy'schen Stäbe nur noch etwa 3 oder 4 mal zu vervielfältigen brauchte. Dadurch wurde eine grössere Stabilität erreicht.

Um von der Variation der Constanten, die mit der Nadel II erhalten wurden, eine Vorstellung zu geben und auch deshalb, weil ich die hier folgenden Constanten zu den physiologischen Versuchsreihen gebraucht habe, will ich nachstehend zunächst eine Reihe

Zahlen geben. Dieselben sollen also auch gleich als Belegbestimmungen für die später verwandten Constanten dienen. Dabei muss ich zunächst bemerken, dass ich, wie eingangs dieses Abschnittes schon erwähnt, das Galvanometer in zwei verschiedenen Empfindlichkeiten gebrauchte. Die Steigerung der Empfindlichkeit wurde stets durch Astasiren bewirkt, während als unempfindliche Stellung die nicht astasirte verwandt wurde. In der empfindlichen Stellung sind die Zahlen unter einander nur solange vergleichbar, als die Lage der Astaten nicht verändert wurde.

1. Aug. Vorm. Nadel astasirt.

Thermometerstände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
20,857		
21,635		
0,778	454	0,00172
20,862		
21,622		
0,760	441	0,00172
20,870		
21,615		
0,745	443	0,00172
	Mittel	0,00172.

1. Aug. Nachmitt. nach 7 Uhr.

Thermometerstände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
21,888		
21,242		
0,646	366	0,00176
21,860		
21,242		
0,618	350	0,00177
21,810		
21,242		
0,568	321	0,00177
	Mittel	0,00177

2. Aug. Vormitt. nach 7 Uhr.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
19,700		
20,371		
0,671	388	0,00173
19,760		
20,365		
0,605	348	0,00173
	Mittel	0,00173

2. Aug. Nadel nicht astasirt.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
22,350		
20,332		
2,018	218	0,00926
22,760		
20,340		
2,420	260	0,00931
23,565		
20,325		
3,240	350	0,00926
24,640		
20,323		
4,317	470	0,00919
24,500		
20,323		
4,177	453	0,00922
24,920		
20,320		
4,600	500	0,00922
	Mittel	0,00920

3. Aug. Nadel neu astasirt.

Thermometerstände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
17,860 18,980 1,120	495	0,00224
17,960 18,975 1,015	448	0,00227
18,020 18,970 0,950	423	0,00225
18,200 18,968 0,768	342	0,00225
18,260 18,965 0,705	310	0,00228
18,310 18,964 0,654	287	0,00228
18,625 18,960 0,335	147	0,00228
		Mittel 0,00226

9. Aug. Vormitt. nach 8 Uhr. Nadel astasirt.

Thermometerstände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
19,565 18,967 0,598	258	0,00231
19,585 18,966 0,619	271	0,00228

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
19,830		
18,965		
0,865	378	0,00229
20,105		
18,966		
1,139	495	0,00230
20,030		
18,966		
1,064	463	0,00230
19,930		
18,966		
0,964	418	0,00231
	Mittel	0,00230

10. Aug. Nachmitt. zwischen $4^1/_2$—$5^1/_2$ Uhr.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
19,980		
19,257		
0,723	312	0,00232
19,980		
19,255		
0,725	312	0,00232
20,260		
19,255		
1,005	431	0,00233
20,270		
19,255		
1,015	436	0,00233
20,390		
19,250		
1,140	487	0,00234

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
20,310		
19,250		
1,060	456	0,00232
	Mittel	0,00233

11. Aug. Vormitt., kurz nach 8 Uhr.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
17,430		
18,144		
0,714	312	0,00229
17,470		
18,140		
0,670	289	0,00232
17,850		
18,135		
0,285	125	0,00228
	Mittel	0,00230

11. Aug. Nadel nicht astasirt.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
19,480		
18,120		
1,354	146	0,00927
20,435		
18,124		
2,311	251,5	0,00919
20,740		
18,120		
2,620	285	0,00920
21,820		
18,117		
3,703	405	0,00914
	Mittel	0,00920

15. August Vormitt. Nadel neu astasirt.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
16,030 15,435 0,595	310	0,00192
16,050 15,436 0,614	318	0,00193
16,060 15,437 0,623	323	0,00193
16,250 15,441 0,809	419	0,00193
16,320 15,445 0,875	453	0,00193
16,310 15,450 0,860	446	0,00193
16,295 15,451 0,844	436	0,00194
	Mittel	0,00193

16. Aug. Nachmitt.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
17,060 16,462 0,598	306	0,00195
17,071 16,465 0,606	312	0,00194

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
17,260		
16,467		
0,793	407	0,00195
17,255		
16,470		
0,785	402	0,00195
17,365		
16,470		
0,895	458	0,00195
17,338		
16,475		
0,863	441	0,00196
	Mittel	0,00195

17. Aug. Vormitt. zwischen 7 und 8 Uhr.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
16,970		
16,365		
0,605	320	0,00189
16,950		
16,366		
0,584	304	0,00192
16,957		
16,367		
0,590	310	0,00190
17,161		
16,370		
0,791	409	0,00193
17,090		
16,370		
0,720	375	0,00192
	Mittel	0,00191

17. Aug. nach 8 Uhr Vormitt. Nadel nicht astasirt.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
16,940		
16,370		
0,570	62,5	0,00912
16,960		
16,370		
0,590	64,5	0,00915
17,135		
16,370		
0,765	83,5	0,00916
17,355		
16,370		
0,985	107	0,00920
17,765		
16,372		
1,393	152	0,00916
18,272		
16,373		
1,899	206	0,00921
18,890		
16,373		
2,517	274	0,00918
19,490		
16,374		
3,116	340	0,00916
		Mittel 0,00917

25. Aug. nach 10 Uhr Vormitt. Nadel neu astasirt.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
18,020		
17,086		
0,934	426	0,00219

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
18,080		
17,093		
0,987	445	0,00222
18,140		
17,100		
1,040	473	0,00220
18,230		
17,582		
0,648	294	0,00220
18,300		
17,585		
0,715	323	0,00221
18,440		
17,591		
0,849	383	0,00222
18,512		
17,595		
0,907	417	0,00218
	Mittel	0,00220

26. Aug. nach 5 Uhr Nachmitt.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
21,140		
20,195		
0,845	380	0,00222
21,080		
20,190		
0,890	394	0,00226
21,100		
20,182		
0,918	405	0,00224

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
21,106		
20,182		
0,924	409	0,00226
21,095		
20,172		
0,923	407	0,00227
21,180		
20,175		
1,005	450	0,00223
21,172		
20,175		
0,997	442	0,00226
	Mittel	0,00225

27. Aug. Nadel nicht astasirt.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
20,140		
19,435		
0,705	77	0,00916
20,610		
19,435		
1,175	127	0,00925
20,585		
19,435		
1,150	124	0,00927
21,295		
19,436		
1,859	200	0,00929
22,080		
19,436		
2,644	286	0,00924

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
22,610		
19,438		
3,172	344	0,00922
23,220		
19,440		
3,780	410	0,00922
	Mittel	0,00924.

Der besseren Uebersicht halber will ich die Mittelzahlen hier zusammenstellen und die bei gleicher Astasie gewonnenen, also unter einander vergleichbaren Zahlen, durch Striche trennen. Die mit dem nicht astasirten Galvanometer gewonnenen Zahlen sind natürlich alle unter einander vergleichbar.

A. Astasirte Nadel II.

1. Aug. Vorm.	0,00172	Grösste Abweichung 2,96 %
1. „ Nachm.	0,00177	
2. „ Vorm.	0,00173	
3. Aug.	0,00226	Grösste Abweichung 3,10 %
9. „	0,00230	
10. „	0,00233	
11. „	0,00230	
15. Aug.	0,00193	Grösste Abweichung 2,09 %
16. „	0,00195	
17. „	0,00191	
25. Aug.	0,00220	Grösste Abweichung 2,27 %
26. „	0,00225	

B. Nicht astasirte Nadel II.

2. Aug.	0,00921	Grösste Abweichung 0,76 %
11. „	0,00920	
17. „	0,00917	
27. „	0,00924	

Die vorstehenden Zahlen bestätigen nun vollständig, was früher über die Constanz des Temperaturwerthes von 1 Scalentheil gesagt worden ist. Die Astasie der Nadel II war geringer, in Folge dessen waren die procentischen Abweichungen ebenfalls kleiner als früher, die Empfindlichkeit aber immerhin noch gross genug, weil das nicht astasirte Galvanometer empfindlicher war.

Das Thermoelement sollte zu den physiologischen Versuchen gebraucht werden, ich musste es deshalb aus dem Apparat, der zur Bestimmung der Constanten diente, herausnehmen. Da aber das Einsetzen mit Umständen verbunden ist, so war es wünschenswerth, ein zweites Thermoelement zu haben, welches genau dieselben Werthe gab, wie das erste, und welches im Apparat verbleiben konnte und fortlaufend zur Controle der Constanten zu benutzen war. Wie schon erwähnt, bekommt man ein solches Element leicht, wenn man nur dieselben Drahtsorten und Dimensionen verwendet. Ich muss hier aber noch den Beweis führen, dass sich beide Elemente hinreichend gleich waren, was nur durch directe Messungen geschehen kann. Die Thermoelemente wurden nach einander in den Apparat eingekittet und die Constanten bestimmt. Es ergaben sich folgende Zahlen:

Thermoelement A. 27. Juli Vormitt.

Thermometerstände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
20,222		
19,582		
0,640	383	0,00167
20,228		
19,587		
0,641	382	0,00168
20,226		
19,592		
0,634	375	0,00169
20,221		
19,594		
0,627	370	0,00169

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
20,222		
19,596		
0,626	372	0,00169
20,246		
19,818		
0,428	257	0,00167
20,260		
19,817		
0,443	262	0,00168
20,260		
19,820		
0,440	261,5	0,00168
	Mittel	0,00168

Thermoelement B. 27. Juli Vormitt.

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
21,922		
21,475		
0,447	270	0,00166
21,975		
21,475		
0,500	300	0,00167
22,090		
21,480		
0,610	364	0,00168
22,205		
21,487		
0,718	417	0,00172
22,255		
21,490		
0,765	450	0,00170

Thermometer-stände	Ausschlag des Galvanometers	1 Scalentheil ist gleich ° C.
22,358		
21,535		
0,823	480	0,00171
22,345		
21,535		
0,810	472	0,00169
	Mittel	0,00169

Die vorstehenden Zahlen werden darthun, dass die beiden Elemente einander genügend gleich waren, um in der angedeuteten Richtung verwerthet werden zu können.

Die Wärmemessungen an den physiologischen Objecten wurden in ähnlicher Weise, wie ich das früher gezeigt habe, unter Wasser in einem Glascylinder vorgenommen, der mit der Glasplatte (Fig. 3) bedeckt werden konnte. Die beiden Drähte a und b in der Platte dienen als Stromleiter. Das Thermoelement wird im Object genau so untergebracht, wie ich es früher beschrieben habe und wie es auch die Figur bei O zeigt. Die übrigen Einrichtungen der Platte dienen der Kohlensäure- und Sauerstoffbestimmung und sollen später erläutert werden.

Sämmtliche Schnittflächen, die durch Abschneiden der Stengel und Blätter an den Objecten (Kohlrabiknollen) entstanden waren, wurden wie früher mit Wachs und Colophonium verschlossen.

Das Galvanometer wurde zunächst astasirt und dann die Constante bestimmt, hierauf das Object unter den für die Kohlensäure- und Sauerstoffbestimmung nöthigen Vorsichtsmassregel in den Cylinder gebracht und letzterer in den Thermostaten A (Fig. 2), welcher auf die Zimmertemperatur gebracht war, unter Wasser versenkt. Der Thermostat konnte durch passend geschnittene Blechscheiben zugedeckt werden, so dass nur das Manumeter d und der Glashahn c, sowie die Drähte a und b aus ihm herausragten. Das Rührwerk G wurde durch das kleine Wasserrad während der ganzen Beoachtungszeit in Thätigkeit gelassen, damit die Temperatur innerhalb des Thermostaten gleichmässig gehalten wurde.

Die Temperaturveränderung des Thermostaten wurde durch das Thermometer D (Fig. 2) controlirt.

Nachdem die Temperatur sich ausgeglichen hatte, wurden zur Bestimmung von τ und r das Galvanometer und das Thermometer D alle Viertelstunde abgelesen. Beim Ablesen des ersteren wurde die Declinationsänderung stets berücksichtigt.

Je nach der Intensität, mit welcher das Object Wärme producirte, wurde die Bestimmung nach ca. 10 bis 30 Stunden unterbrochen und dann die Kohlensäure- und Sauerstoffbestimmungen zu Ende geführt. Die Menge des vom Object verdunsteten Wassers wurde durch Wägen vor und nach dem Versuch bestimmt, wobei alle früher angegebenen Vorsichtsmassregeln in Anwendung kamen.

Um den Ableitungscoefficienten c bestimmen zu können, wurden die Hauy'schen Stäbe vom Galvanometer entfernt, die Temperaturconstante auf's Neue bestimmt, das Object angewärmt (sehr langsam, damit es sich gleichmässig erwärmt), abermals in dem mit Barytwasser beschickten Cylinder gebracht und die Abkühlungsgeschwindigkeit von 5 zu 5 Minuten im Thermostaten beobachtet. Aus den Beobachtungsresultaten lässt sich c, wie ich früher gezeigt habe ableiten.

Beim Bestimmen der specifischen Wärme der Kohlrabi sind wieder dieselben Schwierigkeiten vorhanden, die ich früher beim Bestimmen der specifischen Wärme der Aepfel beschrieben habe. Ich habe die specifische Wärme auch ganz nach der früher angewandten Methode bestimmt. Statt des Messingcalorimeters habe ich aber einfach ein Becherglas benutzt, welches in derselben Weise wie das Messingcalorimetergefäss aufgestellt wurde. Die Kohlrabi wurden ebenfalls in zerriebenem Zustande angewandt. Auch hier ist es schwer, die Temperatur des dicken, schwerbeweglichen Breis gleichförmig zu machen, weshalb ich den Brei mit einer bestimmten Menge Wasser verdünnte und diese Mischung mit angewärmtem Wasser versetzte.

Der calorimetrische Wasserwerth des Becherglases wurde festgestellt und nachstehende Zahlen dafür erhalten.

a ist das Gewicht des im Becherglase vorhandenen Wassers,

b die Temperatur des Wassers und die des Becherglases,

c die Wassermenge, welche mit dem im Calorimeter vorhandenen Wasser gemischt wurde,

d die Temperatur von c,

e die Temperatur der Mischung,

x der gesuchte Wasserwerth.

$$x = \frac{(d - e)\,c}{e - b} - a.$$

Nummer des Versuchs	a	b	c	d	e	x
1	500	20,93	500	46,60	33,20	**46,2**
2	500	21,40	500	44,00	32,21	**45,4**
3	500	18,89	500	48,70	33,15	**45,1**
4	500	19,25	500	48,70	33,38	**42,1**
5	500	19,20	500	48,50	33,20	**46,4**
6	500	19,06	500	48,70	33,20	**48,1**

Das Mittel aus 6 Bestimmungen beträgt **45,6** Cal.

Für die Bestimmung der specifischen Wärme der Kohlrabi bedeutet:

a die angewandte Menge Kohlrabi in g,

f die mit a gemischte Quantität Wasser in g,

b die Temperatur der Mischung von a und f und vom Becherglase,

c die zugemischte Wassermenge,

d die Temperatur von c,

e die Temperatur der Mischung,

x die gesuchte specifische Wärme.

$$x = \frac{c\,(d - e)}{a\,(e - b)} - \frac{f + 45,6}{a}$$

Nr. des Versuchs	a	f	b	c	d	e	x
1	286	214	22,13	500	47,50	34,50	**0,930**
2	250	250	21,53	500	48,50	34,70	**0,913**
3	250	250	19,12	500	48,30	33,35	**0,919**
4	250	250	19,10	500	47,00	32,70	**0,921**
5	250	250	19,15	500	48,30	33,38	**0,915**
6	250	250	19,24	500	48,20	33,35	**0,932**

Das Mittel aus 6 Bestimmungen beträgt **0,920**, welcher Werth für die späteren Berechnungen benutzt werden soll.

Die Berechnung der Constanten c aus der Gleichung II habe ich in derselben Weise ausgeführt, wie ich es früher in der erwähnten Abhandlung pag. 304 beschrieben habe. Da aber τ in einem anderen Maasse ausgedrückt ist wie τ_0 und τ_n, so musste τ zuvor in das Maass der beiden letzten Grössen umgerechnet werden.

Die Gleichung I gilt für die Zeiteinheit. Für eine beliebige Zeit z ist die entwickelte Wärme

$$x = (c\tau \pm r) zC + zwl.$$

In Wirklichkeit lassen sich nun aber τ und r für eine beliebig lange Zeit nicht constant halten, sondern sie wechseln, aber so langsam, dass man für eine kurze Zeit das Mittel aus der ersten und letzten Beobachtung als richtig ansehen kann. Bei längerer Zeit wird das zu bestimmende x um so genauer werden, je häufiger man τ und r misst. Für jede einzelne Zeit kann man dann x berechnen und schliesslich alle addiren, so dass man dann die abgegebene Wärme für die gesammte Zeit, während welcher man beobachtet hat, bekommt.

Dies letztere Verfahren bringt allerdings sehr viel Zahlenrechnen mit sich, und um dies zu umgehen, habe ich zwischen meinen Beobachtungen von τ und r gleiche Zeitabschnitte ($^1/_4$ Stunde) inne gehalten. Alsdann ist das gewählte z immer dasselbe und dadurch vereinfacht sich die Rechnung wie folgt.

Die vom Object entwickelte Wärmemenge x besteht aus zwei Summanden. Der erste $(c\tau \pm r) Cz$ giebt die durch Strahlung und Leitung abgegebene Wärme, der zweite zwl die durch die Wasserverdunstung entführte. Nur der erste Summand ist abhängig von τ und r, und am Schlusse des ersten Zeitabschnittes wird derselbe dargestellt durch

$$\left(c\left(\frac{\tau + \tau_1}{2}\right) \pm \frac{r + r_1}{2}\right) Cz,$$

wenn τ, τ_1 ... sowie r, r_1 ... die Beobachtungen von τ und r am Anfang und am Schlusse des Zeitabschnittes bedeuten.

Wenn nun mehrere solcher Zeitabschnitte auf einander folgen, so setzt sich der Summand für die längere Zeit zusammen aus den

Summanden für die einzelnen Zeitabschnitte und nimmt demnach folgende Gestalt an:

$$\left(c\left(\frac{\tau+\tau_1}{2}\right) \pm \frac{r+r_1}{2}\right) Cz + \left(c\left(\frac{\tau_1+\tau_2}{2}\right) \pm \frac{r_1+r_2}{2} Cz + \ldots + \right.$$
$$\left(c\left(\frac{\tau_{n-1}+\tau_n}{2}\right) \pm \frac{r_{n-1}+r_n}{2}\right) Cz.$$

Da nun aber die Zeit z für alle einzelnen Summanden gleich gross ist, so lässt sich die Formel durch Absondern der gleichen Factoren und Zusammenziehung gleicher Grössen erheblich verkürzen. Es entsteht die Form

$$\left(c\left(\frac{\tau}{2}+\tau_1+\tau_2+\ldots+\tau_{n-1}+\frac{\tau_n}{2}\right) \pm \frac{r}{2} \pm r_1 \pm r_2 \pm \cdots \pm \right.$$
$$\left. r_n - {}_1 \pm \frac{r_n}{2}\right) Cz,$$

zu welchem Summanden noch die durch Wasserverdunstung entzogene Wärme zu zählen ist. Diese beträgt für einen Zeitabschnitt zwl, für n Zeitabschnitte deshalb nzwl, mithin erhalten wir:

$$x = \left(c\left(\frac{\tau}{2}+\tau_1+\tau_2+\ldots+\tau_{n-1}+\frac{\tau_n}{2}\right) \pm \frac{r}{2} \pm r_1 \pm r_2 \pm \cdots \pm r_{n-1}\right.$$
$$\left. \pm \frac{r_n}{2}\right) Cz + nzwl.$$

II. Abschnitt.

Die Kohlensäure- und Sauerstoff-Bestimmung.

Wenn ein pflanzliches Object in einem abgeschlossenen Luftvolumen, in welchem sich gleichzeitig Barytwasser befindet, athmet, so wird Sauerstoff aus der Luft aufgenommen und dafür Kohlensäure abgegeben; die letztere wird vom Barytwasser vollkommen absorbirt, so dass das Luftvolumen durch diese nicht vergrössert wird. Da ferner andere gasförmige Körper von der Pflanze nicht abgeschieden werden, so vermindert sich das Luftvolumen genau um die von der Pflanze aufgenommene Menge Sauerstoff, oder, wenn das Luftvolumen in starre Körper eingeschlossen ist, sinkt der Druck

proportional der aufgenommenen Menge Sauerstoff. Wenn man also die Druckverminderung der eingeschlossenen, quantitativ bekannten Luftmenge ermittelt, so kann man daraus den aufgenommenen Sauerstoff berechnen. War das Barytwasser dem Gehalte nach bestimmt, so lässt sich durch Titriren auch die ausgeschiedene Kohlensäuremenge finden.

Nach dem angegebenen Princip habe ich neben den Wärmemessungen die Sauerstoffaufnahme und Kohlensäureabgabe bestimmt. Der Deckel (Fig. 3) des Glascylinders, in welchem die Wärmemessungen ausgeführt wurden, war ausser den Bohrungen für die Leitungsdrähte mit noch drei anderen Bohrungen versehen. Eine derselben diente zur Aufnahme eines Manometers d, in der zweiten war eine Glasröhre mit Hahn c befestigt, während in der dritten ein kurzer Messingtubus e eingesetzt war. Das Manometer besteht, wie es auch die Figur zeigt, aus einer Glasröhre, welche zweimal so umgebogen ist, dass drei Schenkel derselben parallel liegen. Das eine Ende dieser Röhre ist in eine Messingfassung mit Siegellack eingekittet, die Messingfassung ihrerseits mittelst Verschraubung und Wachskitt in der Glasplatte luftdicht befestigt. Ebenso sind der Glashahn und der Tubus in den Bohrungen der Glasplatte befestigt. Der Tubus ist mit einer Verschraubung versehen, die den Zweck hat, dass man nach Oeffnung der letzteren Barytwasser mit der Pipette in den von der Glasplatte bedeckten Cylinder einführen und herausheben kann, ohne dass die äussere Luft allzusehr auf das Barytwasser einwirkt.

Um den Druck, unter welchem das Gas in dem Cylinder steht, zu bestimmen, misst man den Höhenunterschied der beiden Quecksilberkuppen des Manometers. Dies geschah mit einem in Millimeter getheilten Objectträger, dessen geätzte Theilstriche so lang waren, dass sie von einer Kuppe zur anderen reichten. Dieser Maassstab wurde mittelst einer federnden Klemme an dem Manometer festgehalten und der Höhenunterschied der Quecksilberkuppen durch Ablesen mittelst Fernrohr festgestellt. Die Zehntel-Millimeter wurden geschätzt.

Nachdem der Cylinder mit dem Object (Kohlrabiknolle) beschickt war, wurde die Luft in demselben durch kohlensäurefreie Luft verdrängt. Dies geschah in der Weise, dass in den Tubus mittelst

Kork ein bis an den Boden des Cylinders reichendes Glasrohr eingesetzt wurde, was mit einem Aspirator in Verbindung stand. Der Glashahn dagegen wurde mit einer Waschflasche verbunden, durch welche die Luft frei von Kohlensäure gemacht wurde (Kalilauge auf Bimstein). Der Aspirator functionirte solange, bis das Luftvolumen im Cylinder etwa 4—5 mal erneuert war. Wegen der Wärmemessungen musste diese Operation rasch von statten gehen und die von der Kalilauge stark entwässerte Luft durch eine Waschflasche mit Wasser wieder angefeuchtet werden, damit sie das Object nicht unnöthig austrocknete.

Das Volumen des Cylinders, incl. dasjenige des Glashahns, des Manometers und des Tubuses war durch Ausmessen mittelst Wasser bis auf die ganzen Cubikcentimeter genau festgestellt und betrug 1866 ccm.

Wenn sich der Quecksilberstand im Manometer änderte, verringerte oder vergrösserte sich auch das Volumen, je nach der Richtung der Aenderung. Es war deshalb auch die Manometerröhre durch Auswägen mittelst Quecksilber calibrirt worden.

Ich habe zwei in ihrer Weite verschiedene Manometerröhren verwandt, weil ich dachte, die Capillarwirkung der engeren könnte die Genauigkeit der Volumenbestimmungen beeinflussen, doch hat sich ein wesentlicher Unterschied nicht gezeigt.

Die Temperaturbestimmungen wurden ausgeführt, wenn sich der Cylinder im Thermostaten befand und konnten hinlänglich genau gemacht werden.

Die Methode der Sauerstoffmessung lässt von vorneherein einige Einwände zu. Um nur einen davon herauszuheben, will ich daran erinnern, dass die Gasmessungen über Barytwasser (200 ccm) stattfinden und dass letzteres bei verschiedenem Druck ungleiche, wenn immerhin auch nur kleine Quantitäten der eingeschlossenen Luft löst. Es war deshalb erwünscht, eine empirische Controle des Apparates zu haben, um über die Fehlergrenzen Aufschluss zu gewinnen. Die Controlbestimmungen habe ich in folgender, wie ich glaube, zuverlässiger Art bewirkt.

Ich habe in Glaskugeln, welche ca. 40—50 ccm fassten, Kohlensäure genau abgemessen, die Kugel in den mit Barytwasser beschickten Cylinder eingeschlossen, Druck und Temperatur gemessen,

dann die Kugel in dem Cylinder zertrümmert, die Kohlensäure durch das Barytwasser absorbiren lassen, abermals Druck und Temperatur abgelesen und darauf das Barytwasser nach Absitzenlassen des Bariumcarbonats titrirt. Auf diese Weise wurde also ein und dieselbe Menge Kohlensäure erstens durch Abmessen in einer Glaskugel, dann durch die Druckänderung im Cylinder, gemessen an dem Manometer, und schliesslich durch Titriren mit Barytwasser unter denselben Bedingungen, welche bei den Versuchen inne gehalten wurden, festgestellt.

Die Glaskugeln waren mit zwei Capillarröhrchen versehen, wovon die eine ca. 3 cm lang war, während die andere ca. 15 cm. maass und sich auf dem Ende so erweiterte, dass sich ein Gummischlauch darauf ziehen liess. Ausserdem war die lange Röhre in der Mitte mit einer Marke versehen.

Nachdem die Glaskugel gewogen war, wurde die kürzere Röhre in Wasser getaucht und an der längeren gesogen, so dass sich die Kugel bis zur Marke mit Wasser füllte. Alsdann wurde die kürzere Capillare an der Flamme zugeschmolzen. Es blieb ein kleiner Hohlraum in der Spitze der Capillare. Durch abermaliges Wägen lässt sich nun das Volumen der Kugel, soweit sie mit Wasser gefüllt ist, bestimmen. Man schneidet alsdann die kürzere Capillare an der Stelle, bis zu welcher das Wasser reicht, ab, verbindet die längere Capillare mit einem Kohlensäureentwickelungsapparat und lässt das Wasser durch Kohlensäure verdrängen. Die letztere muss rein und trocken sein. Wenn die Kugel entleert ist, erwärmt man sie mittelst der Flamme und sorgt, dass durch den trocknen Kohlensäurestrom alles Wasser entführt wird. Ist dies sicher geschehen, so schmilzt man die kürzere Capillare an der Spitze zu. Der Entwickelungsapparat comprimirt die Kohlensäure in der Kugel etwas und die Entwickelung hört auf. Nunmehr taucht man die Kugel, die mit einem Gewicht beschwert wird, soweit unter Wasser, dass die Marke an der längeren Capillare frei bleibt. Das Gas nimmt die Temperatur des Wassers an. Alsdann löst man den Schlauch am Entwickelungsapparat, damit das Gas unter den Druck der Atmosphäre kommt und schmilzt mit einer Stichflamme die Capillare an der Marke ab. Das Gewicht der abgeschnittenen und abgeschmolzenen Capillaren wird bestimmt. Notirt man Barometer-

stand und die Temperatur des Wassers, so ist die eingeschlossene Kohlensäuremenge bestimmt. Da die Capillare sehr eng sein kann, so kommen die durch das Zuschmelzen entstehenden Fehler nicht in Frage.

Um nun die in der Kugel abgemessene Kohlensäure auch nach den anderen Methoden messen zu können, bog ich zunächst die längere Capillare zu einem Haken um und befestigte an der kürzeren ein kleines Bleigewicht. Alsdann setzte ich in die für das Thermoelement bestimmten Klemmen des Cylinderdeckels einen Ring aus Draht ein und hängte an diesem die Glaskugel mit ihren Haken auf. Legt man nun den Deckel auf den Cylinder, so hängt die Glaskugel pendelartig in demselben und lässt sich durch Schütteln an der Glaswand des Cylinders zertrümmern, was durch das Bleigewicht erleichtert wird.

Nachdem die Glaskugel in den Cylinder eingeführt war, wurde letzterer in der schon erwähnten Art mit kohlensäurefreier Luft gefüllt, der Glashahn geschlossen und durch den Tubus 200 ccm Barytwasser mittelst der Pipette auf den Boden des Cylinders gebracht. Dann wurde der Tubus verschraubt, der Cylinder in den Thermostaten gestellt, dessen Rührwerk in Thätigkeit gesetzt und nach dem Ausgleich der Temperatur Barometer-, Manometer- und Thermometerstand notirt. Wenn dies geschehen, wurde die Glaskugel durch Schütteln zertrümmert, das Barytwasser solange umgeschüttelt, als sich der Manometerstand noch veränderte, der Cylinder in den Thermostaten zurückgebracht und abermals nach Ausgleich der Temperatur Barometer, Manometer und Thermometer abgelesen. Alsdann wird der Cylinder abgetrocknet, der Tubus geöffnet, das Barytwasser mittelst der Pipette, die mit kohlensäurefreier Luft gefüllt ist, herausgenommen und in einen kohlensäurefreien Cylinder übergeführt. Nach dem Absitzen des Bariumcarbonats wird ein aliquoter Theil des klaren Barytwassers titrirt.

Zum Titriren benutzte ich Schwefelsäure, deren Gehalt mittelst Chlorbarium ermittelt war.

50 ccm Schwefelsäure gaben (am 10. Mai 1887) 0,6010 g Bariumsulphat, demnach zeigt 1 ccm = 0,002270 g CO_2 an. (Ich bemerke, dass die Säure häufig von mir analysirt war und dass sich auch die in meiner früheren Arbeit[1]) angeführten Bestimmungen

1) Quantitative Unters. pag. 297.

auf dieselbe Säure beziehen). Das Barytwasser war stark verdünnt. 50 ccm desselben wurden von 27,55 ccm Schwefelsäure neutralisirt (Indicator: Phenolphtaleïn). 200 ccm Barytwasser waren demnach = 0,2502 g CO_2.

Man hat nun alle Daten, welche zur Berechnung der nach verschiedener Methode bertimmten Kohlensäuremenge nöthig sind. Die Rechnung selbst mag ein Beispiel illustriren.

Glaskugel und Wasser	59,77 g
Glaskugel	3,80 „
Inhalt	55,97 ccm
Abgeschmolzene Capillaren	0,84 g
Glasmasse der Kugel	2,94 „
Bleigewicht	8,50 „

55,97 ccm Kohlensäure bei 18,2° und 757,8 mm Druck nach der Reduction auf 0° und 760 mm = 52,3 ccm.

Inhalt des Cylinders mit Manometer Nr. I . . 1866 ccm

Davon ab:

Barytwasser	200 ccm	
Inhalt der Kugel	56 „	
Volumen der Glasmasse, der Kugel u. des Bleigewichts[1])	1,96 „	
	257,96 „ = rund	258 ccm

Von Druck und Temperatur beeinflusstes Volumen des Cylinders . . . . 1608 ccm

Vor dem Zerbrechen der Glaskugel

Barometer	754,9 mm
Manometer	—0,5 „
Thermometer	16,88°
Tension des Wasserdampfes[2]) =	14,3 mm

Reducirtes Volumen = 1474,8 ccm

Dahinzu das Volumen der Glaskugel 56 „

Summe = 1530,8 ccm.

---

1) Berechnet aus den absoluten und den spec. Gewichten. Das spec. Gewicht des Glases wurde zu 2,47 bestimmt, das des Bleis zu 11,4 angenommen.

2) Dieselbe wurde für das dünne Barytwasser der des Wassers gleich gesetzt und aus den Regnault'schen Tabellen durch Interpolation berechnet.

Nach dem Zerbrechen der Glaskugel von Druck
und Temperatur beeinflusstes Volumen =
1608 + 56 — 0,3 [1]) = 1663,7 ccm.

Barometer . . . . 754,9 mm
Manometer . . . . —24,9 „
Thermometer . . . . . 16,91 °
Tension des Wasserdampfes 14,3 mm

Reducirtes Volumen = 1477,1 ccm

Volumenverminderung **53,7** ccm.

Vorgelegt 200 ccm Barytwasser . . . . . 0,2502 g CO_2
50 ccm Barytw. = 16,0 ccm Schwefels.
200 ccm Barytwasser . . . . 0,1453 „ „

Vom Barytwasser angezeigte Kohlensäure . . 0,1049 g
oder = **53,3** ccm.

Die nachstehende Tabelle giebt die Versuchsdaten von 5 Bestimmungen und die daraus berechneten Resultate.

Bezeichnung der bestimmten Grössen.	I	II	III	IV	V
Gewicht der Glaskugel in g	4,52	3,80	3,36	3,28	3,55
Glaskugel + Wasser g . .	57,73	59,77	53,14	54,20	57,83
Abgeschmolzene Capillare g	0,75	0,84	0,51	0,37	0,69
Bleigewicht g	0	8,50	8,50	8,43	47,33
Glaskugel gefüllt unter:					
Barometerstand mm . .	757,8	757,8	757,8	758,0	759,3
Thermometerstand ° C. .	17,8	18,2	18,0	17,2	17,2
Inhalt des Cylinders incl. Manometers ccm . . .	1866	1866	1866	1866	1876
Vor dem Zerbrechen der Glaskugel:					
Barometer mm . . .	755,4	754,9	754,8	758,0	764,0
Manometer mm . . .	—0,3	—0,5	—0,4	—7,0	—4,6
Thermometer ° C. . .	16,9	16,88	17,00	16,12	15,97
Tension d. Wasserd. mm	14,3	14,3	14,4	13,6	13,5
Nach dem Zerbrechen der Glaskugel:					
Barometer mm . . .	755,2	754,9	754,8	758,0	764,0
Manometer mm . . .	—22,5	—24,0	—21,9	—29,4	—28,2
Thermometer ° C. . .	16,83	16,91	17,09	16,16	16,00
Tension d. Wasserd. mm	14,3	14,3	14,5	13,6	13,5

1) Diese Zahl giebt die durch den verringerten Manometerstand bedingte Volumenverminderung des Cylinders an.

Bezeichnung der bestimmten Grössen.	I	II	III	IV	V
1 mm der Manometerröhre fasst ccm	0,013	0,013	0,013	0,013	0,0386
Vorgelegt an Barytw. ccm	200	200	200	200	200
50 ccm Barytwasser erfordern nach der Absorption der CO_2 an Schwefelsäure ccm	16,6	16,0	17,3	17,05	16,4
Resultate:					
In der Glaskugel gemessen ccm	**49,8**	**52,3**	**46,6**	**47,8**	**51,0**
Im Cylinder gemessen ccm	**50,6**	**53,7**	**49,4**	**51,2**	**54,0**
Durch Titriren gemessen ccm	**50,9**	**53,3**	**47,3**	**48,5**	**51,5**

Man kann wohl annehmen, dass die genaueste Methode der Kohlensäuremessung diejenige in der Glaskugel war. Setzen wir die mittelst dieser Methode erhaltenen Zahlen gleich 100, so gestalten sich die übrigen Zahlen wie folgt:

	im Cylinder gemessen	durch Titriren gemessen
I	101,6	102,2
II	102,6	101,9
III	106,0	101,5
IV	106,9	101,5
V	105,9	101,0

Man ersieht hieraus, dass beide Methoden etwas zu hohe Resultate gaben. Die Messungen im Cylinder (die Sauerstoffmessungen) fallen im Durchschnitt 4,6 % zu hoch aus.

Wir werden die Genauigkeit der Resultate gewiss steigern, wenn wir von den Sauerstoffmessungen einen Fehler von durchnittlich 4,6 % in Abzug bringen.

Dass auch die Kohlensäuremessungen mittelst Barytwasser zu hohe Resultate liefern, hat seine Ursache wohl in dem nie ganz auszuschliessenden Einfluss der atmosphärischen Kohlensäure, sowie darin, dass das Glas sich nicht vollkommen indifferent gegen Barytwasser verhält, sondern etwas davon absorbirt. Indessen ist der

Fehler nicht gerade hoch und ziemlich constant, so dass es sich auch hier empfehlen dürfte, durchschnittlich 1,6 % von den gefundenen Kohlensäuremengen in Abzug zu bringen.

III. Abschnitt.

Die einzelnen Versuche.

Als Untersuchungsobjecte habe ich die verdickten Stengel der Kohlrabi (Brassica olercea Caulo Rapa D. C.) gewählt, weil sich darin die Thermoelemente bequem unterbringen lassen und weil sie ziemlich bedeutende Athmungsthätigkeit entwickeln, ohne eine ausgesprochene Periodicität in der Wärme- und Kohlensäureentwickelung zu zeigen. Es wurden kleine ca. 50—100 g schwere, in ihrer Form sich der Kugel möglichst nähernde, unverletzte Kohlrabi ausgewählt, der daransitzende Stengeltheil sowie die Blätter abgeschnitten und die Schnittflächen mit Wachskitt, welcher sehr gut auf der frischen Schnittfläche haftet, verschlossen. Die Löthstellen des Thermoelements wurden in der Weise vertheilt, wie es durch die Fig. 3 bei O veranschaulicht wird, und die Einführungsstellen ebenfalls mit Wachskitt verklebt.

Gewöhnlch wurden die Kohlrabi frisch aus dem Garten genommen, zuweilen aber auch verwendet, nachdem sie bereits einige Tage abgeschnitten waren.

Da wegen der Sauerstoffbestimmungen das Volumen des Objectes incl. Kitt und Thermoelement bekannt sein musste, so habe ich das durchschnittliche specifische Gewicht der Kohlrabi incl. Kitt und Thermoelent bestimmt, indem ich eine Mischung aus Alkohol und Wasser herstellte, in welcher die Objecte gerade schwebten. Das specifische Gewicht der Alkohol-Wassermischung wurde als das durchschnittliche specifische Gewicht angenommen. Es betrug nach einem Versuche 0,990, welche Zahl zur Berechnung des Volumens der Objecte dann immer zu Grunde gelegt wurde, da auf grosse Genauigkeit hier nicht viel ankommt.

Der Gang der einzelnen Bestimmungen war folgender: Das mit dem Element versehene Object, dessen Temperatur derjenigen des Zimmers möglichst gleich sein soll, wurde gewogen und in den für die Wärme-, Kohlensäure- und Sauerstoffmessungen bestimmten Cylinder gebracht, letzterer von Kohlensäure befreit, mit 150 oder 200 ccm Barytwasser versehen, verschraubt und in den Thermostaten gestellt, dessen Rührwerk in Thätigkeit gesetzt wurde. Nachdem die Temperatur ausgeglichen war, wurden Thermometer, Barometer und Manometer abgelesen und es folgte die Beobachtung des stationären Zustandes. Dann wurde der Cylinder aus dem Thermostaten herausgenommen, so lange geschüttelt, bis Volumenverminderung nicht mehr erfolgte, abermals Ausgleich der Temperatur im Thermostaten herbeigeführt und Barometer-, Thermometer- und Manometerstand auf's Neue festgestellt.

Hierauf wurde mit der Pipette das Barytwasser aus dem Cylinder entfernt und in einen kohlensäurefreien Cylinder, in welchem sich das Bariumcarbonat absetzen konnte, gebracht, das Object gewogen, um den Wasserverlust festzustellen.

Es erübrigt noch ein Abkühlungsversuch zur Bestimmung von c. Das Object wurde angewärmt und in den Cylinder gebracht, der genau so beschickt war wie vorher.

Die Abkühlung wurde im Thermostaten mittelst des nicht astasirten Galvanometers von 5 zu 5 Minuten beobachtet.

Es sollen jetzt die bei den einzelnen Versuchen gewonnenen Daten folgen.

Versuch Nr. I.

Beobachtungstabelle über den stationären Zustand.

1 Scalentheil = 0,00193°

nach Bestimmungen der Constanten am 7. Juli kurz nach 7 Uhr Abends.

Zeit	τ τ_1 τ_2	Temperatur des Thermostaten	r r_1 r_2	Zimmer-temperatur	Barometer	Manometer
		6. Juli Nachmittag				
3^{30}		17,725		17,0	758,1	0
3^{45}		17,725		17,3	758,2	0

Zeit	τ τ_1 τ_2	Temperatur des Thermostaten	r r_1 r_2	Zimmer-temperatur	Baro-meter	Mano-meter
			7. Juli Vormittag			
7^{15}		17,157		16,6		— 17,8
7^{30}	79	50	— 0,007			
7^{45}	78	45	— 0,005			
8	75	44	— 0,001			
8^{15}	75	43	— 0,001			
8^{30}	74	43	0			
8^{45}	74	43	0			
9	73	43	0			
9^{15}	68	42	— 0,001			
9^{30}	69	42	0			
9^{45}	72	23	— 0,019			
10	72	23	0			
10^{15}	71,5	23	0			
10^{30}	71,5	23	0			
10^{45}	68	17	— 0,006			
11	69	16	— 0,001			
11^{15}	69	16	0			
11^{30}	69	16	0			
11^{45}	68	16	0			
12	65	17	+ 0,001			
12^{15}	64	18	+ 0,001			
12^{30}	64	30	+ 0,012			
12^{45}	62	35	+ 0,005			
1	61	36	+ 0,001			
			7. Juli Nachmittag			
2^{15}	61	17,145	+ 0,002	17,2		
2^{30}	61	49	+ 0,004			
2^{45}	63	53	+ 0,004			
3	63	55	+ 0,002			
3^{15}	61,5	55	0			
3^{30}	60	55	0			
3^{45}	60	62	+ 0,007			
4	60	65	+ 0.003			
4^{15}	60	69	+ 0,004			
4^{30}	63	65	— 0,005			
4^{45}	62	65	0			
5	62	67	+ 0,002			
5^{15}	62	67	0			
6^{30}		17,240			764,0	— 36,0

Bestimmung von c.

1 Scalentheil = 0,0126° nach den Messungen vom 9. Juli.

$$\frac{s-r}{c} - \frac{wl}{Cc} = 70 = 10,7.$$

Zeit	τ	Corrigirt τ	$\tau - \left(\frac{s \pm r}{c} - \frac{wl}{Cc}\right)$	$\log \tau - \left(\frac{s+r}{c} - \frac{wl}{Cc}\right)$	$\frac{c}{M}$	Temperatur des Thermostaten	Zimmer-Temperatur
10^{26}	0					18,356	18,0
10^{27}	396	395,8	385,1	2,5856		18,355	
10^{33}	342	341,5	330,8	2,5195	0,0661		
10^{38}	297	296,2	285,5	2,4556	0,0639		
10^{43}	258	256,9	246,2	2,3913	0,0643	18,350	
10^{18}	225	223,6	212,9	2,3281	0,0632		
10^{53}	197	195,3	184,6	2,2662	0,0619		
10^{58}	173	171,0	160,3	2,2049	0,0613		
11^{3}	152	149,7	139,0	2,1430	0,0619		
11^{8}	135	132,4	121,7	2,0852	0,0578		
11^{13}	119.5	116,6	105,9	2,0249	0,0603		
11^{18}	106,5	103,2	92,5	1,9661	0,0588		
11^{23}	95,5	91,4	80,7	1,9069	0,0592		
11^{28}	84,5	80,6	69,9	1,8445	0,0624	18,350	
11^{30}	—4						
				Summe	0,7411		
				c pro Stunde	1,706		

Kohlensäureabgabe.

6. Juli 3^{15} U. Nachm. vorgelegt 150 ccm Barytwasser = 0,1876 g CO_2

7. - 6^{30} - - Versuch unterbrochen.

50 ccm Barytwasser = 10,7 ccm Schwefelsäure

50 - - = 10,7. - -

150 - - = 0,0729 - -

In $27^1/_4$ Stunden abgegebene CO_2 = 0,1147 g

= 58,3 ccm

In 1 Stunde abgegebene CO_2 = 2,139 -

Wasserabgabe.

6. Juli 3 U. Nachm.	Gewicht des Objects incl. Element	=	47,9730 g
7. - 6^{40} -	- - - - - -	=	47,8080 -
	In $27^2/_3$ Stunden erfolgter Gewichtsverlust	=	0,1650 g
	Ab an Kohlenstoff in der ausgeathmeten CO_2	=	0,0340 -
	In $27^2/_3$ Stunden verdampftes Wasser	=	0,1310 g
	In 1 Stunde - -	=	0,004735 g

Sauerstoffaufnahme.

Rauminhalt des Athmungsgefässes 1866 ccm

Ab Barytwassser 150 ccm
Volumen des Objectes $\frac{47,9}{0,99} = 48,4$ - } = 198,4 -

Anfangsvolumen 1667,6 ccm

6. Juli 3^{30} U. Nachm.	Barometerstand	758,1 mm	Reducirtes Anfangs-volumen =	1531 ccm
	Temperatur	17,725 °		
	Manometer	0		
	Tension d. Wasserd.	15,1 mm		
7. Juli 6^{30} U. Nachm.	Barometerstand	764,0 mm	Reducirtes Schluss-volumen =	1472 ccm
	Temperatur	17,24 °		
	Manometer	− 36,0 mm		
	Tension d. Wasserd.	14,6 mm		

In 27 Stunden an Sauerstoff aufgenommen 59 ccm
In 1 Stunde - - - 2,185 -

Wärmeabgabe.

Nach der Beobachtungstabelle über den stationären Zustand wurden τ und r während zweier Perioden von Viertel- zu Viertelstunde bestimmt. z war demnach = $^1/_4$. Für die erste Periode von 7^{30} U. bis 1 U. war n = 22, für die zweite = 12.

I. Periode.

$$\frac{\tau}{2} + \tau_1 + \tau_2 + \ldots + \frac{\tau_{22}}{2} = 1541 \text{ Scalentheile} = 2,975\,^{\circ}\text{C.}$$

$$\frac{r}{2} \pm r_1 \pm r_2 \pm \cdots \pm \frac{r_{22}}{2} = -\,0,021\,^{\circ}\text{C.}$$

II. Periode.

$$\frac{\tau}{2} + \tau_1 + \tau_2 + \ldots + \frac{\tau_{12}}{2} = 737 \text{ Scalentheile} = 1{,}441^{\,0}\,\text{C.}$$

$$\frac{r}{2} \pm r_1 \pm r_2 \pm \cdots \pm \frac{r_{12}}{2} \qquad = +\,0{,}023^{\,0}\,\text{C.}$$

$$= 4{,}398^{\,0}\,\text{C.}$$

Da die spec. Wärme des Objectes = 0,92 und das Gewicht ohne Element 45,1 g betrug, so war die Wärmecapacität $C = 45{,}1 \times 0{,}92 = 41{,}49$. Da der Coëfficient $c = 1{,}706$ ist, so haben wir die in $(22 + 12)\frac{1}{4} = 8{,}5$ Stunden durch Strahlung und Leitung abgegebene Wärme:

$$4{,}398 \times 0{,}25 \times 1{,}706 \times 41{,}49 = 77{,}8 \text{ Cal.}$$

Hierzu kommt noch die durch Wasserverdunstung entzogene Wärmequantität.

Die Verdampfungswärme des Wassers ist, wenn wir die Verdampfungstemperatur zu durchschnittlich 17,15° annehmen = 594,9 Cal. und da in der Stunde 0,004735 g Wasser abgegeben wurde, so ist $nzwl = (22 + 12)\frac{1}{4} \times 594{,}9 \times 0{,}004735 = 23{,}95$ Cal.

Von derjenigen Wärme, die im Object durch die Stoffwechselprocesse entbunden ist, wurde demnach in $8^1/_2$ Stunden an die Umgebung abgegeben:

a) durch Leitung und Strahlung	77,8	Cal.
b) durch Wasserverdunstung	24,0	-
c) im Ganzen	101,8	Cal.
d) pro Stunde	11,98	-

Versuch Nr. II.

Das zu diesem Versuch verwandte Object wurde zweimal während des stationären Zustandes beobachtet, der Coëfficient c wurde aber nur einmal bestimmt.

Ich will deshalb die beiden Versuche, denen beiden derselbe Coëfficient c zu Grunde liegt, unterscheiden als Versuch IIa und IIb.

Versuch Nr. IIa.

Beobachtungstabelle über den stationären Zustand.

1 Scalentheil = 0,00174 ° C. nach Bestimmungen vom 1. Aug. Morgens und Abends.

Zeit	τ τ_1 τ_2	Temperatur des Thermostaten	r r_1 r_2	Zimmer-temperatur	Baro-meter	Mano-meter
		1. August Vormittag				
11^{30}		21,290			764,7	— 0,5
11^{45}		76				
12	133	70		20,5		
12^{15}	147	66				
12^{30}	157	64		20,8		
12^{45}	160	63		20,9		
1	164,5	63				
		1. August Nachmittag				
2^{30}	167,5	21,257	— 0,001	21,2		
2^{45}	167,5	58	+ 0,001			
3	166,5	58	0	21,3		
3^{15}	165	58	0			
3^{30}	164,5	54	— 0,004	21,0		
3^{45}	164	49	— 0,005			
4	163,5	48	— 0,001			
4^{15}	161,5	48	0	21,2		
4^{30}	161,5	48	0	21,3		
4^{45}	158,5	47	— 0,001	21,0		
5	157	43	— 0,004	21,1		
5^{15}	158	43	0			
5^{30}	156	41	— 0,002			
5^{45}	154,5	41	0			
6	153,5	42	+ 0,001	21,3		
6^{15}	152	42	0			
6^{30}	152	42	0	21,4		
6^{45}	149	42	0			
7	148,5	42	0			
7^{15}	147,5	42	0			
7^{30}	148,5	42	0			
8		21,286		21,2	767,0	— 28,0

Bestimmung von c.

1 Scalentheil = 0,00921 ° C. nach Messungen vom 2. August.

$$\frac{s \pm r}{c} - \frac{wl}{Cc} = 157,4 = 29,7.$$

Zeit	τ	Corrigirt τ	$\tau - \left(\frac{s \pm r}{c} - \frac{wl}{Cc}\right)$	$\log \tau - \left(\frac{s \pm r}{c} - \frac{wl}{Cc}\right)$	$\frac{c}{M}$	Temperatur des Thermostaten	Zimmer-Temperatur
9^{30}	±0					20,310	20,2
9^{40}	522,5	522,0	492,3	2,6923		20,310	
9^{45}	462,5	461,8	432,1	2,6356	0,0567		
9^{50}	410	409,1	379,4	2,5791	0,0565		
9^{55}	364,5	363,4	333,7	2,5233	0,0558		
10	325,5	324,1	294,4	2,4689	0,0544		
10^{5}	291,5	289,9	260,2	2,4152	0,0537		
10^{10}	261,0	295,2	229,5	2,3608	0,0544		
10^{15}	234,0	232,0	202,3	2,3060	0,0548		
10^{20}	210,5	208,2	178,5	2,2516	0,0544		
10^{25}	189,5	187,0	157,3	2,1967	0,0549		
10^{30}	171,5	168,8	139,1	2,1433	0,0534		
10^{35}	156,0	153,1	123,4	2,0913	0,0520		
10^{40}	141,0	137,9	108,2	2,0342	0,0571		
10^{60}	— 3,6					20,308	
				Summe	0,6581		
				c pro Stunde	1,516		

Kohlensäureabgabe.

1. Aug. 11^{10} U. Vorm. vorgelegt 200 ccm Barytwasser = 0,2502 g CO_2

1. - 8^{10} - Abends Bestimmung unterbrochen.

50 ccm Barytwasser = 14,65 ccm Schwefelsäure
50 - - 14,65 - -
50 - - 14,65 - -
200 ccm Barytwasser 0,1330 - -

In 9 Stunden an Kohlensäure abgegeben 0,1172 g
= 59,6 ccm

In 1 Stunde an Kohlensäure abgegeben = 6,622 -

Wasserabgabe.

1. Aug. 11 U. Vorm. Gewicht des Objects incl. Element	= 60,5800 g
1. - 8^{15} - Abends - - - - -	= 60,5300 -
In $9^1/_4$ Stunden erfolgter Gewichtsverlust	= 0,0500 g
Ab an Kohlenstoff in der Kohlensäure	= 0,0319 -
In $9^1/_4$ Stunden verdampfte Wassermenge	= 0,0181 g
In 1 Stunde - -	= 0,001957 g

Sauerstoffaufnahme.

Rauminhalt des Athmungsgefässes			1866 ccm
Ab: Barytwasser	200 ccm	} =	261 -
Volumen des Objectes	$\frac{60,58}{0,99}$		
Anfangsvolumen			1605 ccm

1. Aug. 11^{30} U. Vorm.	Barometer	764,7 mm	Reducirtes Anfangs-volumen	= 1460 ccm
	Temperatur	21,29 °		
	Manometer	—0,5 mm		
	Tension d. Wasserd.	18,8 -		
1. Aug. 8 U. Abends	Barometer	767 mm	Reducirtes Schluss-volumen [1])	= 1409,8 ccm
	Thermometer	21,286 °		
	Manometer	— 28 mm		
	Tension d. Wasserd.	18,8 -		
	In $8^1/_2$ Stunden an Sauerstoff aufgenommen			50,2 ccm
	In 1 Stunde - - -			5,906 -

Wärmeabgabe.

Nach den vorangegangenen Tabellen ist von 2^{30} bis 7^{30} U. $\frac{\tau}{2}+\tau_1+\tau_2+\ldots+\frac{\tau_{20}}{2} = 3158{,}5$ Scalentheile $= 5{,}495\,^0$ C. Ferner ist $\frac{r}{2} \pm r_1 \pm r_2 \pm \cdots \pm \frac{r_{20}}{2} = -0{,}016\,^0$ C. c pro Stunde = 1,516. Gewicht des Objectes = 56,74 g. Spec. Wärme desselben 0,92, z wie früher = $^1/_4$ Stunde, n = 20, w = 0,001957 g, l = 592 Cal., die Verdampfungstemperatur zu 21,24 ° genommen.

1) Für Verringerung des Anfangsvolumens durch den verringerten Manometerstand sind 0,2 ccm in Abrechnung gebracht.

Werden diese Werthe, wie gezeigt, in die im zweiten Abschnitt entwickelten Gleichungen eingesetzt, so ergiebt die Rechnung, dass an Wärme abgegeben wurde:

a) durch Leitung und Strahlung = 107,8 Cal.
b) - Wasserverdunstung = 5,8 -
c) im Ganzen in 5 Stunden = 113,6 Cal.
d) - - - 1 Stunde = 22,72 -

Versuch Nr. IIb.

Beobachtungstabelle über den stationären Zustand.

1 Scalentheil = 0,00226 ° C. nach Bestimmungen vom 3. August.

Zeit	τ τ_1 τ_2	Temperatur des Thermostaten	r r_1 r_2	Zimmer-temperatur	Baro-meter	Mano-meter
		3. August Vormittag				
9^{45}		18,934		18,4	766,2	0
10		27				
11	50	22	− 0,001	18,7		
11^{15}	50	22	0			
11^{30}	50	22	0			
11^{45}	51	22	0	18,9		
12	51	24	+ 0,002	19,0		
12^{15}	50	30	+ 0,006	19,1		
12^{30}	50	31	+ 0,001			
12^{45}	49	34	+ 0,003			
1	50	35	+ 0,001	19,0		
		3. August Nachmittag				
2^{30}	52	18,925	− 0,002	18,6		
2^{45}	51,5	22	− 0,003			
3	50	22	0			
3^{15}	50	21	− 0,001			
3^{30}	50	21	0			
3^{45}	50	20	− 0,001	18,5		
4	50	17	− 0,003			
4^{15}	50	14	− 0,003			
4^{30}	50	13	− 0,001			
4^{45}	50,5	12	− 0,001			
5	50	12	0	18,6		
5^{15}	50	13	+ 0,001			
5^{30}	48,5	13	0			
5^{45}	48,5	14	+ 0,001			

Zeit	τ τ_1 τ_2	Temperatur des Thermostaten	r r_1 r_2	Zimmer-temperatur	Barometer	Manometer
		3. August Nachmittag				
6	50	18,914	0	18,8		
6^{15}	48	14	0			
6^{30}	48	14	0			
6^{45}	47,5	16	+ 0,002			
7	44	21	+ 0,005			
7^{15}	46	21	0			
7^{30}	48	21	0	18,8		
		4. August Morgen				
5^{30}	50,5	18,575	— 0,008	17,5		
5^{45}	51	72	— 0,003	18,0		
6	50	67	— 0,005			
6^{15}	50,5	62	— 0,005			
6^{30}	49	56	— 0,006			
7		18,556		18,0	769,6	— 28,2

Kohlensäureabgabe.

3. Aug. 9^{20} U. Morg. vorgelegt 200 ccm Barytwasser = 0,2502 g CO_2
4. - 7^{10} - - Bestimmung unterbrochen.
50 ccm Barytwasser = 17,9 ccm Schwefels.
50 - - = 17,8 - -
200 - - = 0,1621 g CO_2

In $21^5/_6$ Stunden an Kohlensäure abgegeben 0,0881 g
- - - - - - 44,8 ccm
- 1 Stunde - - - 2,051 -

Wasserabgabe.

3. Aug. 9^{10} U. Morg. Gewicht des Objectes incl. Element = 59,8020 g
4. - 7^{15} - - - - - - - = 59,7320 -

In $22^1/_{12}$ Stunden erfolgter Gewichtsverlust = 0,0700 g
Ab an Kohlenstoff in der Kohlensäure = 0,0243 -

In $22^1/_{12}$ Stunden an Wasser verdampft = 0,0457 g
In 1 Stunde - - - = 0,002069 g

Sauerstoffaufnahme.

Rauminhalt des Athmungsgefässes			1866	ccm
Ab: Barytwasser	200 ccm	} =	261	-
Volumen des Objectes	$\frac{59,8}{0,99}$			
Anfangsvolumen			1605	ccm

3. Aug. 9^{45} U. Vorm.	Barometer	766,2 mm	Reducirtes Anfangs-volumen =	1481 ccm
	Thermometer	18,934 °		
	Manometer	0		
	Tension d. Wasserd.	16,2 mm		
4. Aug. 7 U. Morg.	Barometer	769,6 mm	Reducirtes Schluss-volumen =	1434,8 ccm
	Thermometer	18,556 °		
	Manometer	— 28,2 mm		
	Tension d. Wasserd.	15,9 -		

In $21\frac{1}{4}$ Stunden an Sauerstoff aufgenommen 46,2 ccm
In 1 - - - - 2,173 ccm

Wärmeabgabe.

Nach der Beobachtungstabelle des stationären Zustandes ist die Wärmeabgabe während drei Perioden bestimmt:

11 bis 1 U. $\frac{\tau}{2} + \tau_1 + \tau_2 + \cdots + \frac{\tau_8}{2} = 401$ Scalentheile

2^{30} bis 7^{30} U. $\frac{\tau}{2} + \tau_1 + \tau_2 + \cdots + \frac{\tau_{20}}{2} = 982,5$ -

5^{30} bis 6^{30} U. $\frac{\tau}{2} + \tau_1 + \tau_2 + \cdots + \frac{\tau_4}{2} = 201,2$ -

1 Scalentheil = 0,00226 °.

11 bis 1 U. $\frac{r}{2} \pm r_1 \pm r_2 \pm \cdots \pm \frac{r_8}{2} = -0,012$ ° C.

2^{30} bis 7^{30} U. $\frac{r}{2} \pm r_1 \pm r_2 \pm \cdots \pm \frac{r_{20}}{2} = -0,006$ ° C.

5^{30} bis 6^{30} U. $\frac{r}{2} \pm r_1 \pm r_2 \pm \cdots \pm \frac{r_4}{2} = -0,027$ ° C.

Gewicht des Objectes ohne Element = 55,92 g, spec. Wärme 0,920, c = 1,516, n = 8 + 20 + 4, z = 0,25, w = 0,002069, 1 bei 18,9 ° = 593,6 Cal.

Aus vorstehenden Zahlen ergiebt die Rechnung:

a) durch Leitung und Strahlung	69,00 Cal.
b) - Wasserverdunstung	9,82 -
c) im Ganzen in 8 Stunden	78,82 Cal.
d) in 1 Stunde	9,853 -

Versuch Nr. III.

Beobachtungstabelle über den stationären Zustand.

1 Scalentheil = 0,00232 °.

Mittel aus Bestimmungen vom 9. August Morgens und vom 10. August Abends.

Zeit	τ τ_1 τ_2	Temperatur des Thermostaten	r r_1 r_2	Zimmer-temperatur	Baro-meter	Mano-meter
		9. August Vormittag				
11³⁰		18,960		19,5	756,7	– 0,6
		10. August Morgen				
4⁴⁵		19,370		18,0		
5	54	64	— 0,006			
5¹⁵	54	55	— 0,009	18,6		
5³⁰	52	46	— 0,009			
5⁴⁵	51	37	— 0,009	18,8		
6	50	34	— 0,003			
6¹⁵	49	32	— 0,002			
6³⁰	48	30	— 0,002			
6⁴⁵	46,5	25	— 0,005	19,0		
7	46	23	— 0,002			
		10. August Morgen				
7⁴⁵		19,310		19,0		
8	44,3	07	— 0,003			
8¹⁵	43,5	05	— 0,002			
8³⁰	43,3	05	0			
8⁴⁵	42,5	04	— 0,001			
9	42,6	00	— 0,004	18,8		
9¹⁵	42	19,297	— 0,003			
9³⁰	42	94	— 0,003			
9⁴⁵	42	90	— 0,004			

Zeit	τ τ_1 τ_2	Temperatur des Thermostaten	r r_1 r_2	Zimmer-temperatur	Baro-meter	Mano-meter
		10. August Morgen				
10	41,7	19,286	— 0,004			
10^{15}	41,5	85	— 0,001			
10^{30}	41	84	— 0,001	18,9		
10^{45}	41	80	— 0,004	19,0		
11	40,5	80	0	19,1		
11^{15}	40,5	79	— 0,001			
11^{30}	40	77	— 0,002			
11^{45}	40	77	0	19,1		
12	39,7	73	— 0,004			
12^{15}	39,5	70	— 0,003			
12^{30}	39,5	67	— 0,003			
12^{45}	39,7	65	— 0,002			
1	39,5	63	— 0,002		760,7	— 6,5
3^{55}		19,361			751,6	— 30,0

Bestimmung von c.

1 Scalentheil = 0,00920 ° C. nach Messungen vom 11. August.

$$-\left(\frac{s+r}{c}-\frac{wl}{Cc}\right)=-10,2.$$

Zeit	τ	Corrigirt τ	$\tau-\left(\frac{s\pm r}{c}-\frac{wl}{Cc}\right)$	$\log\tau-\left(\frac{s\pm r}{c}-\frac{wl}{Cc}\right)$	$\frac{c}{M}$	Temperatur des Thermostaten	Zimmer-Temperatur
10^{15}	± 0					18,019	17,6
10^{25}	446	445,7	435,5	2,6390			
10^{30}	400	399,5	389,3	2,5902	0,0488		
10^{35}	359	358,3	348,1	2,5417	0,0485		
10^{40}	323,5	322,7	312,5	2,4949	0,0468		
10^{45}	292	291	280,8	2,4484	0,0465		
10^{50}	263,5	262,3	252,1	2,4016	0,0468		
10^{55}	238,5	237,2	227,0	2,3560	0,0456		
11	216	214,5	204,3	2,3102	0,0458		
11^{5}	196	194,3	184,1	2,2650	0,0452		
11^{10}	178	176,2	166,0	2,2201	0,0449		
11^{15}	162,5	160,5	150,3	2,1769	0,0432		
11^{20}	148	145,8	135,6	2,1322	0,0447		
11^{25}	135	132,7	122,5	2,0881	0,0441	18,019	
11^{30}	— 2,5						
				Summe	0,5509		
				c pro Stunde	1,269		

Kohlensäureabgabe.

9. Aug. 11^{10} U. Vorm. vorgelegt 200 ccm Barytwasser = 0,2502 g CO_2
19. - 4 - Nachm. Bestimmung unterbrochen.

50 ccm Barytwasser = 11,90 ccm Schwefelsäure
50 - - = 11,95 - -
50 - - = 11,90 - -
200 - - = 0,1081 - -

In $28^5/_6$ Stunden an Kohlensäure abgegeben = 0,1421 g
= 72,24 ccm
In 1 Stunde - - - = 2,505 -

Wasserabgabe.

9. Aug. 11 U. Vorm. Gewicht d. Objectes incl. Element = 84,4400 g
10. - 4^{10} - Nachm. - - - - - = 84,2550 -

In $29^1/_6$ Stunden an Gewicht verloren = 0,1850 g
Ab an Kohlenstoff in der Kohlensäure = 0,0388 -

In $29^1/_6$ Stunden an Wasser verdampft = 0,1462 g
In 1 Stunde - - - = 0,005012 g

Sauerstoffaufnahme.

Rauminhalt des Athmungsgefässes 1866 ccm
Ab: Barytwasser 200 ccm
Volumen des Objectes $\frac{84,4}{0,99}$ } = 285 -

Anfangsvolumen 1581 ccm

9. Aug. 11^{30} U. Vorm.	Barometer	756,7 mm	Reducirtes Anfangsvolumen	= 1440 ccm
	Thermometer	18,96 °		
	Manometer	— 0,6 mm		
	Tension d. Wasserd.	16,3 -		
10. Aug. 3^{55} U. Nachm.	Barometer	751,6 mm	Reducirtes Schlussvolumen	= 1369,8 ccm
	Thermometer	19,36 °		
	Manometer	— 30,0 mm		
	Tension d. Wasserd.	16,8 -		

In $28^5/_{12}$ Stunden an Sauerstoff aufgenommen 70,2 ccm
In 1 Stunde - - - 2,470 -

Wärmeabgabe.

Es ist nach den vorangegangenen Tabellen von:

$$5 \text{ bis } 7 \text{ U.} \frac{\tau}{2} + \tau_1 + \tau_2 + \ldots + \frac{\tau_8}{2} = 400{,}5 \text{ Scalentheile}$$

$$8 \text{ bis } 1 \text{ U.} \frac{\tau}{2} + \tau_1 + \tau_2 + \ldots + \frac{\tau_{20}}{2} = 824{,}3 \text{ Scalentheile}$$

1 Scalentheil = 0,00232 °.

$$5 \text{ bis } 7 \text{ U.} \frac{r}{2} \pm r_1 \pm r_2 \pm \ldots \pm \frac{r_8}{2} = -0{,}043\,^{\circ}$$

$$8 \text{ bis } 1 \text{ U.} \frac{r}{2} \pm r_1 \pm r_2 \pm \ldots \pm \frac{r_{20}}{2} = -0{,}045\,^{\circ}$$

Gewicht des Objectes ohne Element = 80,6 g, spec. Wärme 0,920, $z = 0{,}25$, $n = 8 + 20$, $c = 1{,}269$, $w = 0{,}005012$ g, l bei 19,3 ° = 593,3 Cal.

Aus diesen Zahlen ergiebt die Rechnung:

a) durch Leitung und Strahlung	64,77 Cal.
b) durch Wasserverdunstung	20,82 -
c) im Ganzen in 7 Stunden	85,59 Cal.
d) in 1 Stunde	12,23 -

Versuch Nr. IV.

Beobachtungstabelle über den stationären Zustand.

1 Scalentheil = 0,00194 °.

Mittel aus Bestimmungen vom 15. August Vorm. und 16. August Nachm.

Zeit	τ τ_1 τ_2	Temperatur des Thermostaten	r r_1 r_2	Zimmer-temperatur	Baro-meter	Mano-meter
		15. August Vormittag				
11^{30}		16,350		16,3	759,9	−0,5
		15. August Nachmittag				
2^{15}	89	16,350	0	16,5		
2^{30}	87,5	50	0			
2^{45}	85	50	0			
3	83,5	51	+0,001	16,8		
3^{15}	83	51	0			
3^{30}	79,5	51	0			

Zeit	τ τ_1 τ_2	Temperatur des Thermostaten	r r_1 r_2	Zimmer-temperatur	Baro-meter	Mano-meter
		15. August Nachmittag				
3^{45}	79	16,351	0	16,8		
4	79	51	0			
4^{15}	75	51	0			
4^{30}	75,5	55	+ 0,004			
4^{45}	75,5	55	0			
5	75	55	0			
5^{15}	73	56	+ 0,001	16,6		
5^{30}	72	57	+ 0,001			
5^{45}	71,5	57	0	16,4		
6	71,5	57	0	16,4		
6^{15}	71	59	+ 0,002			
6^{30}	70	59	0			
6^{45}	70	60	+ 0,001			
7	69	60	0			
7^{15}	69	60	0			
		16. August Vormittag				
5^{30}		16,185		15,8		
5^{45}	62,5	83	— 0,002			
6	62	82	— 0,001			
6^{15}	61	81	— 0,001			
6^{30}	60	81	0	16,2		
6^{45}	58,5	77	— 0,004			
7	58	77	0	16,4		
7^{15}	57	77	0			
7^{30}	55,5	77	0			
7^{45}	55	77	0	16,4		
8^{15}	55	16,177	0			
8^{30}	53	78	+ 0.001			
8^{45}	52,5	86	+ 0,008	16,6		
9	51	86	0			
9^{15}	51	87	+ 0,001			
9^{30}	51,5	93	+ 0,006	16,8		
9^{45}	50	97	+ 0,004	17,2		
10	49	16,202	+ 0,005			
10^{15}	49	05	+ 0,003			
10^{30}	49	10	+ 0,005	17,0		
10^{45}	48,5	15	+ 0,005			
11	46	20	+ 0,005			
11^{15}	45	25	+ 0,005			

Zeit	τ τ_1 τ_2	Temperatur des Thermostaten	r r_1 r_2	Zimmer-temperatur	Barometer	Manometer
		16. August Vormittag				
11^{30}	45	16,230	+ 0,005			
11^{45}	44,5	40	+ 0,010			
12	44	45	+ 0,005			
12^{15}	43,5	50	+ 0,005			
12^{30}	43,0	55	+ 0,005			
12^{45}	42	65	+ 0,010			
1	42,5	72	+ 0,007	17,4		
		16. August Nachmittag				
4		16,470			757,0	— 38,0
		17. August Nachmittag. 1 Scalentheil = 0,00917°.				
6^{15}	12	17,216				
6^{30}	12	16				
6^{45}	12	18				
7	12	18				
7^{15}	12	18				

Bestimmung von c.

1 Scalentheil = 0,00917° nach Messungen vom 17. August.

$-\left(\frac{s+r}{c}-\frac{wl}{Cc}\right) = -12$ nach Messungen vom 17. August Nachmittags.

Zeit	τ	Corrigirt τ	$\tau-\left(\frac{s\pm r}{c}-\frac{wl}{Cc}\right)$	$\log \tau-\left(\frac{s\pm r}{c}-\frac{wl}{Cc}\right)$	$\frac{c}{M}$	Temperatur des Thermostaten	Zimmer-Temperatur
10^{25}	± 0					17,180	17,0
10^{30}	477,5	477,3	465,3	2,6678			
10^{35}	439,2	438,9	426,9	2,6303	0,0375		
10^{40}	404,0	403,6	391,6	2,5929	0,0374		
10^{45}	373,0	372,5	360,5	2,5569	0,0360		
10^{50}	344,5	343,9	331,9	2,5210	0,0359		
10^{55}	318,1	317,4	305,4	2,4849	0,0361		
11	294,3	293,5	281,5	2,4495	0,0354		
11^{5}	273	272,1	260,1	2,4152	0,0343		
11^{10}	252,3	252,3	240,3	2,3807	0,0345		
11^{15}	233,6	232,5	220,5	2,3434	0,0373		
11^{20}	217,0	216,9	204,9	2,3115	0,0319		
11^{25}	201,0	199,6	187,6	2,2732	0,0383		
11^{30}	187	185,5	173,5	2,2392	0,0340	17,180	
11^{35}	— 1,5						
				Summe	0,4286		
				c pro Stunde	0,987		

Kohlensäureabgabe.

15. Aug. 11[10] U. Vorm. vorgelegt 200 ccm Barytwasser = 0,2502 g CO_2
16. - 4 - Nachm. Versuch unterbrochen.

50 ccm Barytwasser = 9,5 ccm Schwefelsäure
50 - - = 9,6 - -
50 - - = 9,5 - -
200 - - = 0,0866 - -

In $29\frac{1}{12}$ Stunden an Kohlensäure abgegeben = 0,1636 g
= 83,16 ccm
In 1 Stunde - - - = 2,860 -

Wasserabgabe.

15. Aug. 11 U. Vorm. Gewicht d. Objectes incl. Element = 101,4370 g
16. - 4[30] - Nachm. - - - - - = 101,3430 -

In $29\frac{1}{3}$ Stunden erfolgter Gewichtsverlust = 0,0940 g
Ab an Kohlenstoff in der Kohlensäure = 0,0446 -

In $29\frac{1}{3}$ Stunden an Wasser verdampft = 0,0494 g
In 1 Stunde - - - = 0,001685 -

Sauerstoffaufnahme.

Inhalt des Athmungsgefässes			1866 ccm
Ab: Barytwasser	200 ccm	=	302 -
Volumen des Objectes	$\frac{101,4}{0,99}$		
Anfangsvolumen			1564 ccm

15. Aug. 11[30] U. Vorm.	Barometer	759,9 mm	Reducirtes Anfangs-volumen =	1447 ccm
	Thermometer	16,35 °		
	Manometer	— 0,5 mm		
	Tension d. Wasserd.	13,8 -		
16. Aug. 4 U. Nachm.	Barometer	757,0 mm	Reducirtes Schluss-volumen =	1368,8 ccm
	Thermometer	16,47 °		
	Manometer	— 38,0 mm		
	Tension d. Wasserd.	14,9 -		

In $28\frac{1}{2}$ Stunden an Sauerstoff aufgenommen 78,2 ccm
In 1 Stunde - - - 2,745 -

Wärmeabgabe.

Es ist nach den vorangegangenen Tabellen von:

2^{15} U. bis 7^{15} U. $\frac{\tau}{2}+\tau_1+\tau_2+\cdots+\frac{\tau_{20}}{2}=1524{,}5$ Scalentheile

5^{45} U. bis 7^{45} U. $\frac{\tau}{2}+\tau_1+\tau_2+\cdots+\frac{\tau_8}{2}=\ 470{,}7$ Scalentheile

8^{15} U. bis 1 U. $\frac{\tau}{2}+\tau_1+\tau_2+\cdots+\frac{\tau_{19}}{2}=\ 906{,}2$ Scalentheile

1 Scalentheil = 0,00194 °.

2^{15} U. bis 7^{15} U. $\frac{r}{2}\pm r_1\pm r_2\pm\cdots\pm\frac{r_{20}}{2}=+0{,}010$

5^{45} U. bis 7^{45} U. $\frac{r}{2}\pm r_1\pm r_2\pm\cdots\pm\frac{r_8}{2}=-0{,}007$

8^{15} U. bis 1 U. $\frac{r}{2}\pm r_1\pm r_2\pm\cdots\pm\frac{r_{19}}{2}=+0{,}092$

Gewicht des Objectes ohne Element = 97,67 g, spec. Wärme = 0,92, $z = 0{,}25$, $n = 20 + 8 + 19$, $c = 0{,}987$, $w = 0{,}001685$, l bei 16,2 = 595,5 Cal.

Die Rechnung ergiebt, dass an Wärme abgegeben wurde:

a) durch Leitung und Strahlung 126,9 Cal.
b) durch Wasserverdunstung 11,8 -
c) im Ganzen in $11^3/_4$ Stunden 138,7 Cal.
d) in 1 Stunde 11,8 -

Versuch Nr. V.

Beobachtungstabelle über den stationären Zustand.

1 Scalentheil = 0,00223 °.

Mittel aus Bestimmungen vom 25. Aug. Vorm. und 26. Aug. Nachm.

Zeit	τ τ_1 τ_2	Temperatur des Thermostaten	r r_1 r_2	Zimmer-temperatur	Baro-meter	Mano-meter
		25. August Vormittag				
11^{45}		19,517		19,5	763,6	— 1,0
		25. August Nachmittag				
2^{30}	113,5	19,488	0	19,8		
2^{45}	112	88	0			
3	110	88	0	20,0		

Zeit	τ τ_1 τ_2	Temperatur des Thermostaten	r r_1 r_2	Zimmer-temperatur	Baro-meter	Mano-meter
		25. August Nachmittag				
3 15	109	19,488	0	20,1		
3 30	107,5	88	0			
3 45	107,5	88	0			
4	105,5	88	0			
4 15	105	88	0	19,8		
4 30	104	88	0			
4 45	103,5	89	+ 0,001			
5	103,5	89	0	19,8		
5 15	103,5	89	0			
5 30	103,5	89	0			
5 45	103,5	95	+ 0,006	19,8		
6	103	95	0			
6 15	103,5	95	0	19,8		
6 30	104	95	0			
6 45	104,5	97	+ 0,002			
7	104,5	19,500	+ 0,003	19,6		
		26. August Vormittag				
7 45		19,123		18,4		
8	81	20	− 0,003			
8 15	81	15	− 0,005	18,5		
8 30	79	12	− 0,003			
8 45	77	11	− 0,001			
9	75	11	0	19,0		
9 15	73,2	11	0	19,0		
9 30	73	11	0			
9 45	72	11	0	19,0		
10	71	11	0	19,0		
10 15	69	20	+ 0,009			
10 30	67	22	+ 0,002	20,0		
10 45	66,5	30	+ 0,008	20,0		
11	66	40	+ 0,010			
11 15	65	40	0			
11 30	63	45	+ 0,005	19,8		
11 45	64	45	0			
12	63	50	+ 0,005			
12 15	63	57	+ 0,007			
12 30	62	60	+ 0,003	19,8		
12 45	61,5	67	+ 0,007			
1	61	70	+ 0,003			
		26. August Nachmittag				
4 30		19,360		21	761,6	− 47,0

Bestimmung von c.

1 Scalentheil = 0,00924 ° nach Messungen vom 27. August.

$$-\left(\frac{s+r}{c}-\frac{wl}{Cc}\right) = -16,9.$$

Zeit	τ	Corrigirt τ	$\tau-\left(\frac{s\pm r}{c}-\frac{wl}{Cc}\right)$	$\log\tau-\left(\frac{s\pm r}{c}-\frac{wl}{Cc}\right)$	$\frac{c}{M}$	Temperatur des Thermostaten	Zimmer-Temperatur
10^{10}	± 0						
10^{15}	449	448,7	431,8	2,6353		20,340	
10^{20}	387	386,5	369,6	2,5677	0,0676		
10^{25}	339	338,2	321,3	2,5068	0,0609	20,337	
10^{30}	297	295,9	279,0	2,4456	0,0612		
10^{35}	261,5	260,2	243,3	2,3861	0,0595		
10^{40}	230,5	228,9	212,0	2,3263	0,0598		
10^{45}	203	201,1	184,2	2,2653	0,0610		
10^{50}	180,5	178,4	161,5	2,2081	0,0572		
10^{55}	160,5	158,1	141,2	2,1498	0,0583		
11	143,7	141,0	124,1	2,0937	0,0561		
11^{10}	128,5	125,6	108,7	2,0363	0,0574		
11^{15}	115,5	112,3	95,4	1,9795	0,0568	20,345	
11^{25}	-4						
				Summe	0,6558		
				c pro Stunde	1,510		

Kohlensäureabgabe.

25. Aug. 11^{10} U. Vorm. vorgelegt 200 ccm Barytwasser = 0,2502 g CO_2
26. - 4^{35} - Nachm. Versuch unterbrochen.

50 ccm Barytwasser = 4,8 ccm Schwefelsäure
50 - - = 4,9 - -
50 - - = 4.9 - -
200 - - = 0,0442 - -

In $29^5/_{12}$ Stunden an Kohlensäure abgegeben = 0,2060 g
= 104,7 ccm

In 1 Stunde an Kohlensäure abgegeben = 3,558 - -

Wasserabgabe.

25. Aug. 11 U. Vorm.	Gewicht d. Objectes incl. Element	= 49,4120 g
26. - 4^{40} - Nachm.	- - - - -	= 49,2600 -
	In $29^2/_3$ Stunden an Gewicht verloren	= 0,1520 g
	Ab an Kohlenstoff in der Kohlensäure	= 0,0562 -
	In $29^2/_3$ Stunden an Wasser abgegeben	= 0,0958 g
	In 1 Stunde - - -	= 0,003229 -

Sauerstoffaufnahme.

Inhalt des Athmungsgefässes			1876 ccm
Ab: Barytwasser	200 ccm	} =	250 -
Volumen des Objectes	$\frac{49,4}{0,99}$		
Anfangsvolumen			1626 ccm

25. Aug. 11^{45} U. Vorm.	Barometer	763,6 mm	Reducirtes Anfangs-volumen	= 1490 ccm
	Thermometer	19,517 °		
	Manometer	— 1,0 mm		
	Tension d. Wasserd.	16,8 -		
26. Aug. 4^{30} U. Nachm.	Barometer	761,6 mm	Reducirtes Schluss-volumen	= 1393 ccm
	Thermometer	19,360 °		
	Manometer	— 47,0 mm		
	Tension d. Wasserd.	16,7 -		
	Schlussvolumen	1625 ccm		

In $28^3/_4$ Stunden an Sauerstoff aufgenommen 97 ccm

In 1 Stunde - - - 3,374 -

Wärmeabgabe.

Nach den Tabellen ist von:

2^{30} U. bis 7 U. $\frac{\tau}{2}+\tau_1+\tau_2+\cdots+\frac{\tau_{18}}{2}=1902,2$ Scalentheile

8 U. bis 1 U. $\frac{\tau}{2}+\tau_1+\tau_2+\cdots+\frac{\tau_{20}}{2}=1392,5$ Scalentheile

2^{30} U. bis 7 U. $\frac{r}{2}\pm r_1\pm r_2\pm\cdots\pm\frac{r_{18}}{2}=+0,011^{\circ}$

8 U. bis 1 U. $\frac{r}{2}\pm r_1\pm r_2\pm\cdots\pm\frac{r_{20}}{2}=+0,047^{\circ}$.

1 Scalentheil = 0,00223 °.

Gewicht des Objectes ohne Element 45,67 g, spec. Wärme = 0,920, z = 0,25, n = 18 + 20, c = 1,510, w = 0,003229, l bei 19,3 ° = 593,3 Cal.

Die Rechnung ergiebt, dass an Wärme, welche den Stoffwechselprocessen entstammt, abgegeben wurde:

a) durch Leitung und Strahlung = 117,5 Cal.
b) durch Wasserverdunstung = 18,2 -
c) im Ganzen während $9^1/_2$ Stunden = 135,7 Cal.
d) in 1 Stunde = 14,28 -

IV. Abschnitt.

Besprechung der Resultate.

Ich lasse zunächst eine Zusammenstellung und einheitliche Berechnung der Resultate folgen.

Nr. des Versuchs	Dauer der Messungen in Stunden			Gemessene Grössen pro Stunde			$\frac{CO_2}{O_2}$	Für 1 ccm CO_2 an Wärme abgegeben Cal.	Für 1 ccm O an Wärme abgegeben Cal.
	CO_2	O	Wärme	CO_2-Abgabe ccm	O-Aufnahme ccm	Wärme-Abgabe Cal.			
I	27,3	27,0	8,5	2,139	2,185	11,98	0,9788	5,60	5,48
IIa	9	8,5	5	6,622	5,906	22,72	1,121	3,43	3,85
IIb	21,8	21,3	8	2,051	2,173	9,85	0,9439	4,80	4,54
III	28,8	28,4	7	2,505	2,470	12,23	1,014	4,88	4,95
IV	29,1	28,5	11,8	2,860	2,745	11,80	1,042	4,13	4,30
V	29,4	28,8	9,5	3,558	3,374	14,28	1,079	4,01	4,23

Bei der künstlichen Verbrennung der nachstehenden Verbindungen gestalten sich die Zahlen der drei letzten Rubriken wie folgt:

Oxalsäure $C_2O_4H_2$	4,00	0,722	4,60
Weinsäure $C_4H_6O_6$	1,60	2,92	4,68
Citronensäure $C_6H_8O_7$	1,33	3,43	4,56
Bernsteinsäure $C_4H_6O_4$	1,14	3,88	4,43
Traubenzucker $C_6H_{12}O_6$	1,00	4,95	4,95

Um die vorstehenden Zahlen physiologisch verwerthen zu können, müssen wir die wahrscheinlichen Versuchsfehler ermitteln.

In dieser Beziehung nimmt der erste Versuch eine Ausnahmestelle ein, denn die Temperaturmessungen wurden hier mit einem Galvanometer ausgeführt, welches ziemlich stark astasirt war. Bei der Berechnung des ersten Versuchs wurde ein Scalentheil = 0,00193 ° angenommen, nach Bestimmungen, welche nach 7 Uhr Abends am 7. Juli ausgeführt wurden (siehe S. 233). Dieser Werth ist wahrscheinlich zu hoch und auf eine plötzliche Schwankung der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus zurückzuführen, denn noch am 6. Juli hatte die Bestimmung im Mittel aus 6 Versuchen 0,00174 ° ergeben, und als am 8. Juli die Bestimmung wiederholt wurde, fand sich 0,00168. Es hat deshalb das Mittel aus den beiden letzten Zahlen = 0,00171 ° eine grössere Wahrscheinlichkeit für sich, als die Zahl 0,00193, und deshalb ist die gefundene Wärmemenge im Verhältniss von 193 : 171 zu verringern. Es ergiebt sich dann für den ersten Versuch:

Für 1 ccm CO_2 abgegeben = 4,96 Cal.
Für 1 - O_2 - = 4,86 -

Wenn wir diese Zahlen für Versuch I in die Tabelle einfügen, so sind die Versuche ihrer wahrscheinlichen Fehler nach gleich zu behandeln.

Was zunächst den Fehler anbetrifft, mit welchem das Verhältniss $\frac{CO_2}{O_2}$ behaftet sein kann, so haben wir im II. Abschnitt gesehen, dass die Kohlensäurebestimmungen durchschnittlich 1,6 %, die Sauerstoffbestimmungen aber durchschnittlich um 4,6 % zu hoch ausfallen, das Verhältniss $\frac{CO_2}{O_2}$ wird dadurch ca. 3 % zu niedrig.

Die Fehler der Wärmemessungen habe ich früher schon eingehend erörtert[1]), so dass ich diese Erörterung hier nicht zu wiederholen brauche. Ich habe damals den Fehler der Methode zu ca. 6 % angegeben unter der Voraussetzung, dass sich die Fehler überall addirten. Im Grossen und Ganzen werden die Fehler bei diesen letzten Untersuchungen kleiner sein, weil die Temperaturmessungen

1) Pringsheim's Jahrb., Bd. XVIII, Heft 3, pag. 327.

genauer waren, so dass wir vielleicht höchstens 5 % als maximalen Fehler anzunehmen brauchen. Eine Fehlerquelle will ich hier indessen noch anführen, die ich früher nicht erwähnt habe. Die Methode setzt voraus, dass die Wärmeleitung im Object so gross ist, dass zu ein und derselben Zeit die Temperatur des Objectes an verschiedenen Orten gleich ist. Es wird zwar durch das Thermoelement eine Mitteltemperatur aus 12 verschiedenen Stellen des Objectes geliefert, indessen ist immer denkbar, dass an einzelnen Stellen, an denen besonders reger Stoffumsatz stattfindet (z. B. in den Blattachseln, in denen sich Knospen bilden oder entfalten), die Temperaturdifferenz zwischen Object und Umgebung grösser ist, als sie durch das Thermoelement angezeigt wird. Dann würden die Resultate der Wärmemessungen zu niedrig ausfallen. Diesem Fehler wirkt zwar die Protoplasmabewegung entgegen, ob er indessen vollständig ausgeschlossen ist, lässt sich ohne specielle Versuche darüber nicht sagen, und wie gross er eventuell ist, entzieht sich jeder Schätzung. Ich kann ihn deshalb nicht weiter berücksichtigen, werde aber bei späteren Untersuchungen Rücksicht darauf nehmen, da man durch Vergrösserung der Zahl der Löthstellen des Thermoelements und geeignete Vertheilung derselben diesen Fehler wird vollkommen ausschliessen können.

Für die physiologische Betrachtung der Resultate dürfte es angezeigt sein, aus allen Versuchen die Mittelzahlen zu berechnen. Berücksichtigt man dabei die wahrscheinlichen Fehler der Sauerstoff- und Kohlensäuremessung mit der angegebenen Grösse, so erhält man:

$$\frac{CO_2}{O_2} = 1{,}061.$$

Für 1 ccm CO_2 abgegeben 4,37 Cal.
Für 1 - O_2 - 4,46 -

Der Athmungsquotient $\frac{CO_2}{O_2}$ kommt der 1 ziemlich nahe, so dass die grösste Menge des zur Verathmung gelangten Materials wohl ein Kohlenhydrat gewesen ist. Da aber bekanntlich alle Kohlenhydrate dem Verhältniss $\frac{CO_2}{O_2} = 1$ genügen, so entsteht die Frage, welches Kohlenhydrat der Verathmung anheim gefallen ist. Diese Frage habe ich durch chemische Untersuchung zu entscheiden ver-

sucht, indem ich feststellte, welches Kohlenhydrat der Hauptmenge nach in den Kohlrabi enthalten war. Diese Untersuchung will ich hier zunächst folgen lassen.

Chemische Untersuchung der Kohlrabi.

Mikroskopisch lässt sich in den Kohlrabi keine Stärke nachweisen. Behandelt man Schnitte aus der Mitte, wo die Chromatophoren fehlen, mit Jod, so sieht man in den Zellen ausser dem Protoplasma keine ungelösten Körper, hier und da tritt aber eine eigenthümliche violette Färbung auf, die eine Folge der Jodbehandlung ist und von einem in der Zelle gelösten Körper herzurühren scheint.

Es war darnach zu vermuthen, dass sich das Kohlenhydrat im Zellsaft gelöst befindet, weshalb ich eine grössere Menge zerriebener Kohlrabi auspresste. Der Saft, ca. 200 ccm, wurde zum Kochen erhitzt, wobei sich ein Coagulum abschied, welches durch ein Wolltuch von der Lösung abfiltrirt wurde. Es resultirte eine ziemlich klare, grüngefärbte Lösung, welche Fehlingsche Lösung reducirte und ein Papierfilter bald verstopfte. Sie wurde mit etwa der dreifachen Menge Alkohohl versetzt, wodurch eine flockige Fällung (Niederschlag A) entstand.

1. Niederschlag A. Abfiltrirt, mit Alkohol und Aether gewaschen. Nach dem Verdunsten des Aethers auf dem Platinblech verbrannt, giebt der Niederschlag einen Geruch nach verbranntem Horn. In heissem Wasser erfolgt Lösung, die sich klar filtriren lässt. Das Filtrat trübt sich beim Kochen nicht und besitzt in hohem Maasse die Fähigkeit, beim Schütteln wie Seifenwasser zu schäumen. Es reagirt schwach sauer. Mit Fehlingscher Lösung giebt es weder direkt noch nach dem Kochen mit Schwefelsäure Reduction. Mit Millon'schem Reagenz tritt eine weisse Fällung ein, die sich beim Erhitzen rosaroth färbt. Kalilauge erzeugt eine flockige Trübung, nach Zusatz von einem Tropfen Kupfervitriollösung tritt violette Färbung der Lösung ein, während der Niederschlag, wie es scheint, ungefärbt bleibt. Die Lösung des Niederschlages A giebt ferner mit Bleiessig weisse, flockige Fällung, ebenso mit Tannin, aber weniger reichlich. Mit Jod in Jodkalium entsteht eine intensiv violette Färbung, die schon von sehr kleinen Quantitäten des Nieder-

schlages erzeugt wird. Es ist sehr wahrscheinlich, dass die violette Färbung, welche nach der Behandlung mit Jod unter dem Mikroskop zu beobachten ist, von dem Körper herrührt, welcher den grössten Theil des Niederschlages A ausmacht. Nach den vorausgegangenen Reactionen ist er ein peptonartiger Körper. Durch Glühen mit Natronkalk liefert der Niederschlag A alkalische Dämpfe und Geruch nach Ammoniak.

Durch Alkohol waren also aus dem ausgepressten Zellsaft dextrinartige Kohlenhydrate nicht ausgefällt.

2. Filtrat vom Niederschlag A. Der Alkohol wurde abdestillirt und die wässerige Lösung mit Bleiessig gefällt, das Filtrat vom Bleiessigniederschlag durch Schwefelwasserstoff entbleit und eingedampft. Es resultirte ein gelber, süss schmeckender, in Alkohol ziemlich schwer, in Wasser leicht löslicher Syrup, der Fehling'sche Lösung stark reducirte. Die wässerige Lösung des Syrups war zu sehr gefärbt, als dass sie sich polarisiren liess, deshalb wurde sie abermals mit einigen Tropfen Bleiessig versetzt, wodurch nur ein geringer Niederschlag, aber wenig Entfärbung hervorgerufen wurde. Deshalb wurde noch Sublimat hinzugefügt, welches einen braunen, sich schnell absetzenden Niederschlag erzeugte. Die hiervon abfiltrirte Lösung wurde von Quecksilber und Blei durch Schwefelwasserstoff befreit, noch mit Knochenkohle behandelt und nun in fast vollständig farblosem Zustand polarisirt. Sie drehte die Polarisationsebene nach rechts. Aus diesen Untersuchungen geht hervor, dass das in der Kohlrabi vorhandene Kohlenhydrat Traubenzucker ist und ein dextrin- oder stärkeartiges Kohlenhydrat fehlt.

Wir können nunmehr annehmen, dass das im Athmungsprocess der Kohlrabi oxydirte Material grösstentheils Traubenzucker gewesen ist und untersuchen, wie sich die ermittelten Grössen bei der künstlichen Verbrennung des Traubenzuckers gestalten.

Die Verbrennungswärme des Traubenzuckeranhydrits (Dextroseanhydrits) ist nach Stohmann[1]) pro Molekül 664600 Grammcalorien. Mit Hülfe derselben und der Gleichung

1) Landw. Jahrbücher Bd. 13. 1884. pag. 549.

$$C_6H_{12}O_6 + {}_{12}O = 6\,CO_2 + 6\,H_2O$$

berechnet sich leicht

$$\frac{CO_2}{O_2} = 1.$$

Für 1 ccm CO_2 abgegeben = 4,95 Cal.
- 1 - O_2 - = 4,95 -

Bei der Berechnung ist die Lösungswärme des wasserfreien Traubenzuckers, welche negativ ist und nur ca. 0,35 % der Verbrennungswärme beträgt, ausser Acht gelassen.

Da nun im Durchschnitt der Athmungsquotient $\frac{CO_2}{O_2}$ der Kohlrabi etwas grösser als 1, nämlich, wie wir gesehen haben, zu 1,061 gefunden wurde, so werden neben Traubenzucker wahrscheinlich noch organische Säuren verbraucht sein. Bei diesen gestalten sich jene Grössen wesentlich anders, wie die Zusammenstellung am Anfang dieses Abschnittes zeigt.

Nehmen wir beispielsweise den günstigsten Fall an, dass neben Traubenzucker Bernsteinsäure verathmet ist, so können wir mit Hülfe des Verhältnisses $\frac{CO_2}{O_2}$ berechnen, wie viel im Durchschnitt von beiden Verbindungen verbraucht wurde. Nennen wir die in der Einheit der verathmeten Substanz enthaltene Menge Traubenzucker x und die darin enthaltene Bernsteinsäure y, so haben wir mit Berücksichtigung der Zusammenstellung auf Seite 286 die beiden Gleichungen

$$x + y = 1$$
$$x + 1{,}14\,y = 1{,}061,$$

woraus folgt:

Traubenzucker = 0,56
Bernsteinsäure = 0,44.

Bei der künstlichen Oxydation eines Gemisches von Traubenzucker und Bernsteinsäure in diesem Verhältniss würde sich ergeben:

$$\frac{CO_2}{O_2} = 1{,}061.$$

Für 1 ccm CO_2 abgegeben = 4,49 Cal.
- 1 - O_2 - = 4,72 -

Dem gegenüber stehen die unter Berücksichtigung der wahrscheinlichen Fehler im Mittel aus allen Versuchen gefundenen Zahlen:

$$\frac{CO_2}{O_2} = 1{,}061.$$

Für 1 ccm CO_2 abgegeben = 4,37 Cal.
- 1 - O_2 - = 4,46 -

Setzen wir die berechnete Wärme = 100, so würden **97,3** und **94,5** % wirklich gefunden sein.

Nehmen wir beispielsweise an, dass Oxalsäure neben Traubenzucker verathmet ist, und führen die Rechnung wie im vorigen Beispiel durch, so ergiebt sich:

Für 1 ccm CO_2 abgegeben = 4,84 Cal.
- 1 - O_2 - = 4,92 -

d. h. es würden **90,3** bis **90,7** % der berechneten Wärme wirklich gefunden sein.

So gestalten sich die Verhältnisse, wenn wir die Mittelzahlen aus allen Versuchen zu Grunde legen. Die einzelnen Bestimmungen zeigen grössere Abweichungen, oft so grosse, dass sie sich durch die Annahme, es seien organische Säuren oxydirt, nicht mehr erklären lassen, wie ein Blick auf die Zusammenstellung der Resultate lehrt. Es giebt zur Erklärung aber noch verschiedene Möglichkeiten:

1. Die Fehlerquellen der von mir angewandten Methode der Wärmemessung sind grösser, als sie in Anrechnung gebracht wurden. — Soweit die Fehler in Rechnung gezogen sind, glaube ich sie nicht allzu optimistisch beurtheilt zu haben, doch ist zu bedenken, dass vielleicht die 12 Löthstellen nicht genügen, um eine sichere Mitteltemperatur des Objects zu liefern.

2. Die Zeit der Wärmemessung, die gewöhnlich, wie die Zusammenstellung zeigt, nur ca. 1/3 der Zeit der Kohlensäure- und Sauerstoffmessungen beträgt, genügt nicht um richtige Durchschnittszahlen zu geben. Die Wärmemessungen wurden am Tage gemacht, während die Kohlensäure- und Sauerstoffbestimmungen über Nacht durchgingen, sollte sich also eine geringe Periodicität in der Kohlensäure- und Wärmeentwickelung geltend machen, so könnten sich daraus die Differenzen leicht erklären.

3. Es wäre möglich, dass die aus dem Stoffumsatz berechnete Wärmemenge nicht vollständig in Freiheit gesetzt wird. Diese Frage habe ich früher auf einem anderen Wege zu lösen versucht, indem ich die Verbrennungswärme von Samen und Keimlingen sowie die

Elementarzusammensetzung derselben bestimmte. Dabei hatte sich ergeben, dass, wenn man die aus den Stoffumsatz berechneten Wärmemengen = 100 setzt, die aus den Verbrennungswärmen der Samen und Keimlinge abgeleitete Wärme bei einem Versuch 48 %, bei einem zweiten 95 % betrug[1]).

Diese Untersuchungen sind auf Veranlassung Stohmann's von Wilsing[2]) wiederholt, wobei die Stohmann'sche Methode zur Bestimmung der Verbrennungswärmen in Anwendung kam. Bei diesen Untersuchungen gestalteten sich die Resultate anders. Wilsing fand für 100 Theile der aus dem Stoffumsatz berechneten Wärme in vier Versuchen 111, 104, 117 und 112 % wirklich abgegeben und erklärt die positive Differenz aus der nicht mit in Rechnung gezogenen Asparaginbildung. Ich habe meine Untersuchungen bislang nicht wiederholen können und halte es wohl für möglich, dass, besonders bei dem ersten Versuch, Fehler unterlaufen sind, was ja bei der Complication der Versuche leicht vorkommen kann.

Wenn wir aber auch die Wilsing'schen Zahlen als richtig annehmen, so müssen wir immer berücksichtigen, dass dieselben nur für die Trockensubstanzen gelten und nichts darüber aussagen, in welcher Form der lebende Organismus die Energie verloren hat. Um diese Frage mit Sicherheit zu beantworten, bedarf es noch weiterer Untersuchungen in der von mir eingeschlagenen Richtung, zumal noch für keinen Organismus diese Fundamentalfrage experimentell mit der nöthigen Genauigkeit beantwortet ist.

Ich hoffe durch weitere Untersuchungen auf dem eingeschlagenen Wege zu völlig einwurfsfreien Resultaten zu gelangen, zumal es mir gelungen ist, eine Hauptschwierigkeit, die Schwankung der Temperaturconstanten des Galvanometers, ihrer Ursache nach zu erkennen. Wie im ersten Abschnitt ausgeführt ist, wird die Schwankung

1) Für diese Zahlen ist die Berechnung von Wilsing, dem andere Verbrennungswärmen als mir zur Verfügung standen, zu Grunde gelegt. Journal f. Landwirthschaft, XXXII. Jahrgang 1884.

2) Ebendas.

der horizontalen Intensität des Erdmagnetismus durch die astasirenden Magnete des Galvanometers multiplicirt, eine Thatsache, welche für alle galvanometrischen Messungen, bei denen eine Aichung des Instruments erforderlich ist, Bedeutung gewinnt, worauf ich am Schlusse dieser Abhandlung noch hinweisen möchte.

Kiel, Landw. Institut.

Figuren-Erklärung.

Tafel VI.

Fig. 1. Spiegelgalvanometer.

Fig. 2. Apparate zur Vergleichung der Thermoelemente mit den Thermometern.

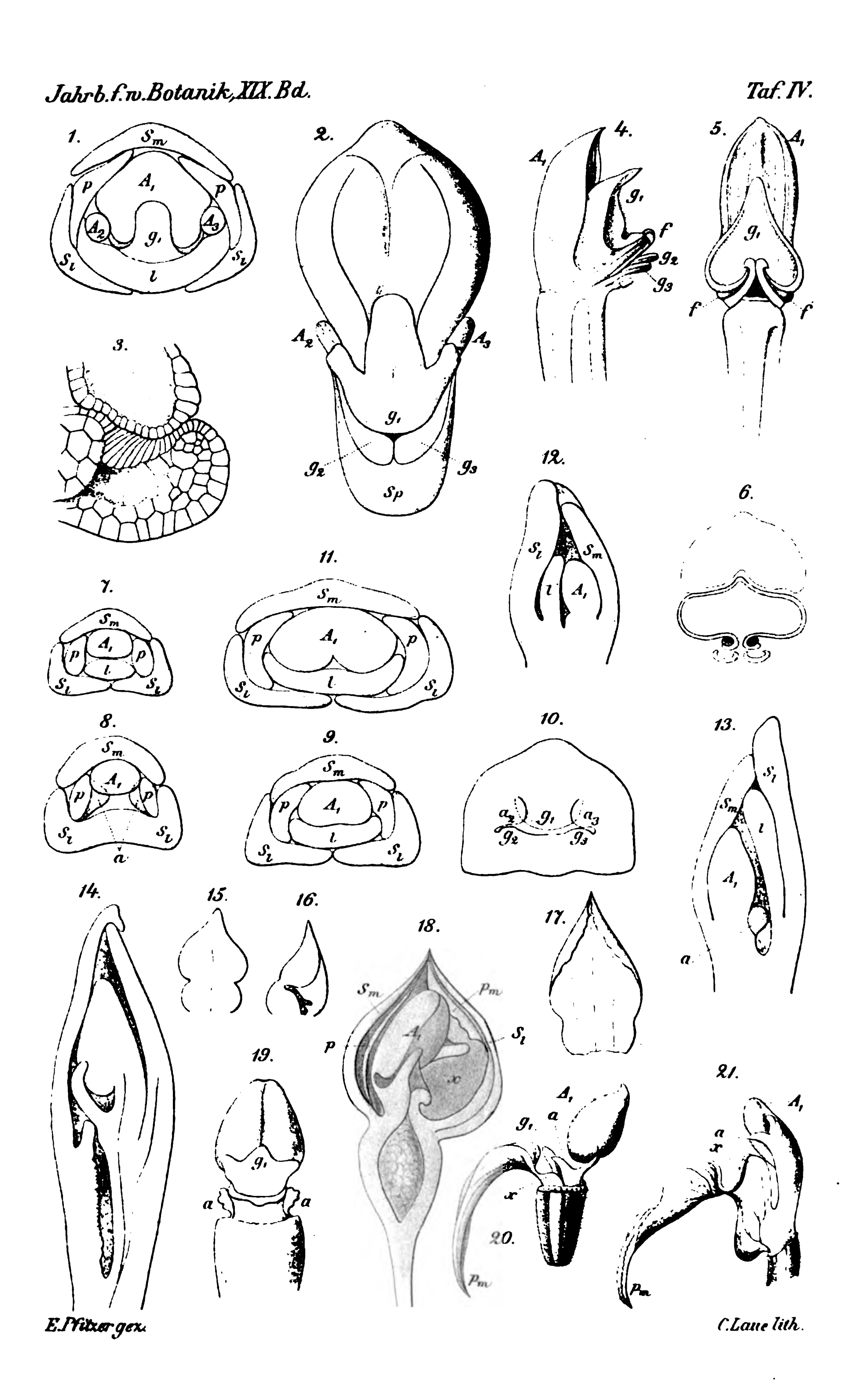
Fig. 3. Deckel zu dem Cylinder, in welchem die Sauerstoff-, Kohlensäure- und Wärme-Messungen vorgenommen wurden.

Inhalt

des vorliegenden 2. Heftes, Band XIX.

E. Pfitzer gez.

C. Laue lith.



E. Pfitzer gez. C. Laue lith.

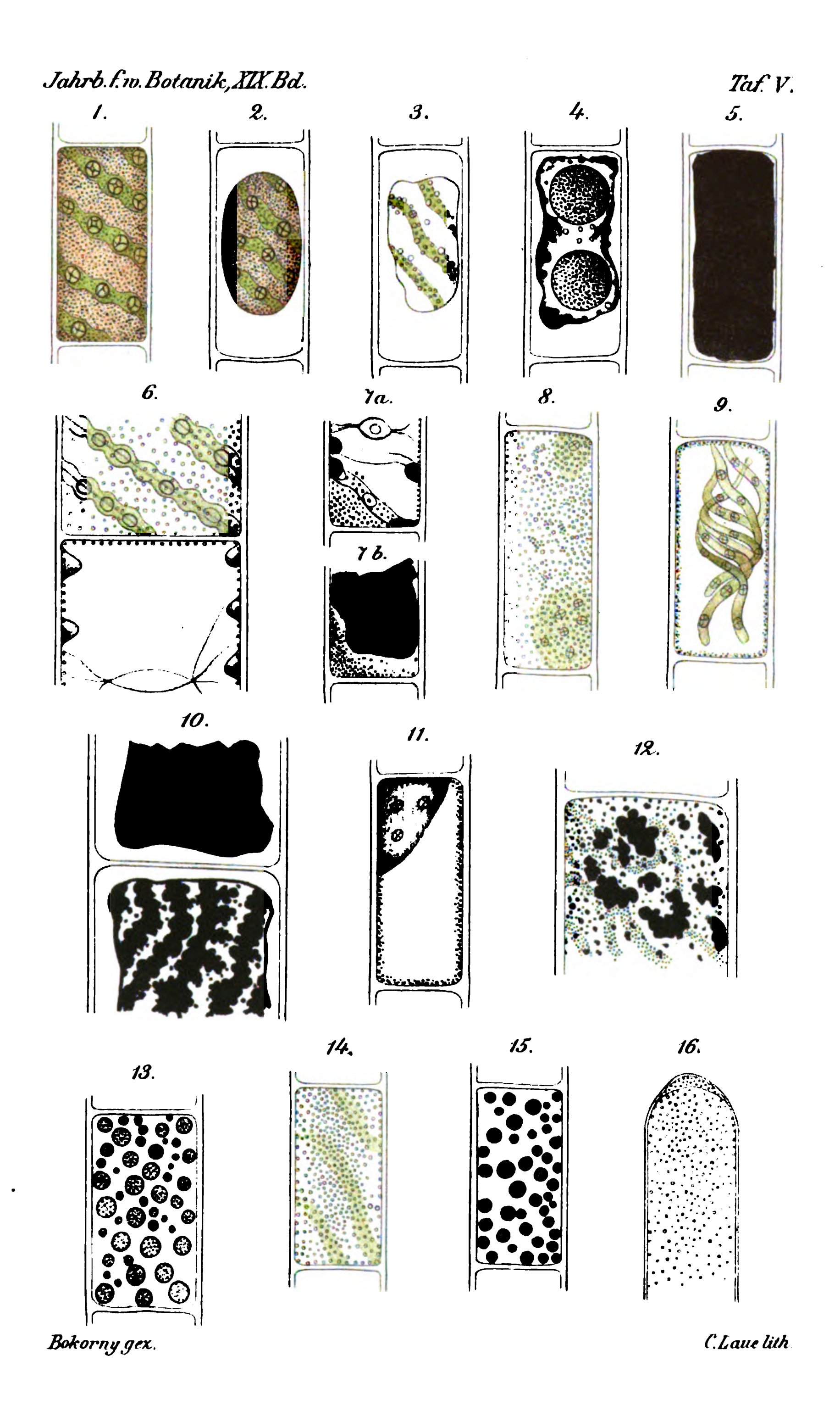

1.
2.
3.
4.
5.
6.
7a.
7b.
8.
9.
10.
11.
12.
13.
14.
15.
16.
Bokorny gez.
C. Laue lith.

Fig. 3.

Fig. 1.

Fig. 2.

Lith v C.Laue Berlin

Inhalt des vorliegenden 2. Heftes, Band XIX.

Inhalt des vorhergehenden 1. Heftes, Band XIX.

Correspondenten und Einsendern von Manuscripten zur gefälligen Kenntnissnahme, dass meine gegenwärtige Adresse ist:

Berlin W. Königin-Augustastrasse 49.

Im März 1887.

Pringsheim.

Druck von G. Bernstein in Berlin.

JAHRBÜCHER

für

wissenschaftliche Botanik.

Herausgegeben

von

Dr. N. Pringsheim.

Neunzehnter Band. Drittes Heft.
Mit 5 lithographirten Tafeln.

Berlin, 1888.
Verlag von Gebrüder Borntraeger
Ed. Eggers.

Die Vermehrung der normalen Vacuolen durch Theilung.

Von

F. A. F. C. Went.

Hierzu Tafel VII—IX.

Vor einiger Zeit veröffentlichte ich eine Abhandlung auf Holländisch und Französisch[1]), worin ich den Beweis zu liefern suchte, dass die normalen Vacuolen nie durch Neubildung entstehen, sondern dass sie ihre Entstehung immer anderen Vacuolen verdanken, woraus sie durch Theilung hervorgehen. Seit dem Erscheinen dieser Arbeit, wurden mehrere Abhandlungen publicirt[2]), die theils Beweise für meine Meinung enthielten, theils aber auch zu ganz entgegengesetzten Resultaten zu kommen schienen. Dies veranlasst mich, hier noch einmal meine Untersuchungen mitzutheilen, hauptsächlich auch, weil ich noch neue Beobachtungen gemacht habe, welche mich alle zu demselben Schlusse drängen: „Normale Vacuolen entstehen nie frei im Protoplasma, sondern bilden sich immer durch Theilung aus früher schon anwesenden Vacuolen.“

---

1) F. Went, De jongste toestanden der Vacuolen. In. Diss. Amsterdam 1886 und F. Went, Les premiers états des vacuoles. Arch. Neerl. des Sc. ex. 1887.

2) Die nachher zu citirenden Arbeiten von Pfeffer, Berthold, Frank Schwarz, Moll und Wakker.

Einleitung.

In neuerer Zeit bricht sich die Meinung fortwährend mehr Bahn, dass das Protoplasma nicht ein Mischmasch allerlei Art von Sachen sei, sondern ein bestimmt organisirter Körper, dessen Organe sich durch Theilung vermehren. Hofmeister war der Hauptvertreter der früheren Ansicht, dass Protoplasma eine ganz gewöhnliche Flüssigkeit sei, dessen Lebenserscheinungen man erklären könne durch die bekannten physikalischen Gesetze, welche sich auf Flüssigkeiten beziehen. Er erklärte z. B. die Hautschicht des Protoplasmas aus der grösseren Dichte der Oberfläche der Flüssigkeiten.[1]) Ja selbst noch in allerneuester Zeit hat man es versucht, die verschiedenen Lebensfunctionen zu verstehen, indem man sich das Protoplasma als eine gewöhnliche Emulsion dachte.[2])

Von den Organen des Protoplasmas waren Zellkern und Chlorophyllkörner schon längst bekannt, ebenso auch durch die Untersuchungen Pringsheim's die Hautschicht; man liess sich diese Theile aber immer neubilden aus dem Protoplasma. Diese Meinung wurde, insoweit sie den Zellkern betrifft, zuerst durch die Untersuchungen Strasburgers, Guignards, Flemmings u. A. umgestürzt und später, was die Chlorophyllkörner anbelangt, hauptsächlich durch die Entdeckung der Stärkebildner und ihrer Vermehrung von Schimper[3]). Um dieselbe Zeit erschien die äusserst wichtige und klare Schrift Hanstein's[4]), worin dieser den Namen Protoplast einführt, und darauf hindeutet, dass dieser Protoplast ein organisirter Körper sei, aus verschiedenen Organen aufgebaut.

Für die Vacuolen blieben aber die älteren Meinungen noch immer gültig; nur Hanstein[5]) hatte, obwohl nur vermuthungsweise von einer lebenden Vacuolenwand gesprochen. Dagegen glaubten

1) Hofmeister, Pflanzenzelle, p. 3.

2) Berthold, Studien über Protoplasma-Mechanik, Leipzig 1876.

3) Schimper, Unters. über die Entstehung der Stärkekörner. Bot. Zeitg. 1880, Nr. 52. Unters. über die Entwickel. der Chlorophyllk. und Farbkörper. Bot. Zeitg. 1883, Nr. 7, 8, 9, 10.

4) Hanstein, Das Protoplasma I. Heidelberg 1880.

5) Hanstein, l. c. p. 157.

Nägeli[1]) und Pfeffer[2]), dass die Vacuole abgegrenzt wäre durch eine Niederschlags-Membran. Durch die Erscheinung der „Plasmolytischen Studien über die Wand der Vacuolen“[3]) wurden die Vacuolen wieder mehr in den Vordergrund gedrängt. de Vries zeigte hier, dass jede Vacuole umgeben ist von einer eignen Wand; mittelst verschiedener Agentien konnte er das übrige Protoplasma tödten und die Vacuolenwand dabei lebend behalten; am besten gelang ihm dieses mittelst einer 10prozentigen Salpeterlösung; bei nachheriger Erwärmung platzten die Vacuolen. In Uebereinstimmung mit der Nomenclatur Strasburgers (Chloroplasten, Leukoplasten, Chromoplasten) gebraucht de Vries für die Vacuolenwand das Wort Tonoplast. In seiner jüngsten interessanten Abhandlung „Ueber Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen“, schliesst sich Pfeffer dieser Ansicht von de Vries[4]) an.

Natürlich konnte man sich vor dem Erscheinen der Arbeit von de Vries noch keine klaren Vorstellungen machen über die Entstehung der normalen Vacuolen und über ihre jüngsten Zustände. Die meisten Botaniker hielten an der Meinung Hofmeisters fest,[5]) dass Vacuolen auftreten würden in zu stark mit Wasser imbibirten Zellen, dass also die jüngsten Zellen keine Vacuolen besitzen, sondern dass diese erst später auftreten, wenn die Zelle anfängt zu wachsen. Man findet diese Meinung u. A. vertreten in den bekannten Handbüchern von Sachs[6]), Nägeli und Schwendener[7]), de Bary[8]) und van Tieghem[9]). Um eine Erklärung dieser Auffassung zu finden, muss ich hier gleich bemerken, dass es zweierlei Art Vacuolen giebt, nämlich normale und pathologische. Die ersteren werden nur in der lebenden Zelle gefunden, die letzteren dagegen sind Desorganisationsproducte, welche beim Sterben von Kernen und Chro-

1) Nägeli und Cramer, Pflanzenphysiologische Untersuchungen. Zürich. 1855, I.

2) Pfeffer, Osmotische Untersuchungen (an verschiedenen Stellen).

3) de Vries, Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. XVI, 1885, p. 465.

4) Pfeffer, Unters. aus dem bot. Inst. zu Tübingen. Bd. II, 1886, p. 315 f.

5) Hofmeister, l. c. p. 5, 6.

6) Sachs, Lehrbuch der Botanik. 4. Aufl., 1874, p. 2. Vorlesungen über Pflanzenphysiologie, 1882, p. 96, 513, 687 und 741.

7) Nägeli und Schwendener. Das Mikroskop, p. 548.

8) de Bary. Vergl. Morph. der Pilze. Leipzig, 1884, p. 6, 113 und 122.

9) van Tieghem. Traité de Botanique, 1884, p. 585.

matophoren entstehen. Wie wir nachher sehen werden, haben diese beiden Categorien von Vacuolen nichts mit einander zu machen. Nun waren aber über die Bildung der normalen Vacuolen keine Beobachtungen gemacht, nnd selbst noch keine Hypothesen aufgestellt, und da war es natürlich, dass man dasjenige, was man von pathologischen Vacuolen wusste, auch auf die normalen übertrug. Die Richtigkeit dieser Uebertragung musste aber nach den Untersuchungen von de Vries, welche sich aber nur auf normale Vacuolen bezogen, stark angezweifelt werden.

Eine neue, auf den Resultaten von de Vries sich stützende Untersuchung der jüngsten Zustände der normalen Vacuolen, war also nothwendig. De Vries hatte schon die Aufmerksamkeit auf diesen Punkt gelenkt, und dabei eine vorläufige Hypothese aufgestellt[1]), woran meine Untersuchungen sich schliessen. Diese Hypothese kann hier in folgenden Worten kurz zusammengefasst werden: In den allerjüngsten Zellen (Scheitelzelle oder Primordialzellen) befinden sich Vacuolen; diese vermehren sich durch Theilung wie Kerne und Chromatophoren, somit wird jede Tochterzelle eine oder mehrere aus der Mutterzelle stammende Vacuolen besitzen, und Neubildung von Vacuolen aus dem Cytoplasma kommt somit nicht vor. Ich hebe hier nochmals hervor, dass hier nur von normalen Vacuolen gesprochen wird, da de Vries überhaupt den Unterschied zwischen normalen und pathologischen Vacuolen niemals scharf hervorgehoben hat. Anknüpfend an die herrschende Meinung über die Abwesenheit von Flüssigkeitstropfen in den jüngsten Zellen, nahm de Vries dabei an, dass die Tonoplasten in diesem Zustande nicht hohl sondern massiv seien, und erst später Vacuolen produciren würden.

Bei meiner Untersuchung zeigte sich nun, dass wirklich schon in den allerjüngsten Zellen Tonoplasten vorhanden sind, dass diese sich durch Theilung vermehren und also alle später in den Zellen vorhandenen Vacuolen sich in dieser Weise bilden können; in dieser Hinsicht stimmt also die Hypothese mit den Thatsachen. Dabei werden wir aber sehen, dass die herrschende Meinung über die Abwesenheit von Vacuolen in den jüngsten Zellen unrichtig ist, da diese bei einer bestimmten Untersuchungsmethode mit vollkommener

1) de Vries, l. c. p. 489.

Sicherheit darin zu sehen sind; in dieser Hinsicht muss also auch die genannte Hypothese geändert werden.

In jüngster Zeit ist diese Hypothese von de Vries, von Berthold, Pfeffer und Frank Schwarz bekämpft worden. Ihre Vorwürfe richteten sich theilweise gegen die massiven Tonoplasten; in dieser Hinsicht sind sie durch meine Untersuchung wohl widerlegt. In seiner Abhandlung über die Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen erklärt sich Pfeffer gegen die Hypothese von de Vries. Ganz richtig sagt er dort:[1]) „Jedenfalls hat de Vries für seine Ansicht irgend genügende Argumente nicht beigebracht und die bisherigen Erfahrungen scheinen mir eher gegen dessen Hypothese zu sprechen. Jedenfalls muss diese zu allseitiger Durchdringung des Protoplasmas mit Tonoplasten die Zuflucht nehmen, da verschiedenste Theilstücke des Protoplasmas auch des Körnerplasmas, zur Vacuolenbildung geeignet sind. Die Fähigkeit des Zellkerns und der Chlorophyllkörner, im Ganzen oder in ihren Theilstücken bei Einbringen in Wasser Vacuolen liefern zu können, muss es doch fraglich erscheinen lassen, ob die Vacuolenbildung nur an die für diesen Zweck bestimmten Organen geknüpft ist". Wie ich im 3. Capitel zeigen werde, handelt es sich hier um pathologische Vacuolen, und kommt auch nicht jedem Theilstücke des Protoplasmas die Fähigkeit zu, Vacuolen zu bilden, sondern nur denjenigen, die schon Vacuolen enthalten. Die übrigens ganz richtigen Bemerkungen Pfeffers können also nicht gegen die Entstehung normaler Vacuolen geltend gemacht werden. Daneben hat Pfeffer in dieser Abhandlung einige sehr hübsche Beweise für die Vermehrung der Vacuolen durch Theilung beigebracht. Wie nämlich die Zellen der Wurzelspitze sich blau gefärbt hatten, indem der Zellsaft Methylenblau gespeichert, und die Wurzel darauf in Wasser weiter wuchs, fand Pfeffer nachher auch wieder den Zellsaft der neugebildeten Zellen blau, wenn auch weniger intensiv wie vorher[2]). Wenn sich die Vacuolen durch Theilung vermehren, lässt sich diese Thatsache natürlich sehr leicht verstehen. Im 2. Kapitel werde ich diese Versuche etwas ausführlicher besprechen.

---

1) Pfeffer, Unters. aus dem bot. Inst. zu Tübingen. Bd. II, 1886, p. 322.
2) Pfeffer, l. c. p. 197, 211, 213, 215.

Die Beobachtungen von Berthold[1]) und Frank Schwarz[2]) beziehen sich auf die Bildung von pathologischen Vacuolen. Beide halten auch die normale Vacuolenbildung für einen Entmischungsvorgang im Protoplasma. Frank Schwarz sucht das zu beweisen, indem er die pathologischen Veränderungen des Cytoplasmas durch Einwirkung von Wasser und anderen Reagentien untersucht; da sieht er natürlich oft, dass sich Safthöhlen bilden, identificiert diese aber gleich mit normalen Vacuolen. Diese Beobachtungen beziehen sich, wie man gleich sieht, nur auf pathologische Vacuolen. In den meisten Fällen handelt es sich da um eine Vergrösserung der schon anwesenden adventiven Vacuolen, bisweilen sind es auch nur Sterbenserscheinungen. Diese letzteren, sowie auch die schon längst bekannten von Frank Schwarz wiederholten Versuche mit gerbsaurem Leim beweisen überhaupt nichts für dasjenige was im Leben vorkommt. Vacuolen sind eben nicht nur zufällige Flüssigkeitstropfen im Cytoplasma, sondern ganz bestimmte Organe mit bestimmten physiologischen Funktionen, wie ich das am Schlusse dieser Arbeit noch etwas näher auseinandersetzen werde. Nachher spricht Schwarz von der chemischen Beschaffenheit des Hyaloplasmas[3]); ich glaube dass man diese Befunde mit grosser Vorsicht betrachten muss, erstens weil es meistens schon sehr schwer ist, die Hautschicht des Protoplasmas nur zu sehen, geschweige denn ihre Reactionen ausfindig zu machen, und zweitens, weil es mir vorkommt, dass es nicht eben einen grossen Vortheil gewährt, zu wissen, wie allerlei Stoffe auf das Protoplasma einwirken, wenn man nicht die mindeste Idee hat, was diese Einwirkungen zu bedeuten haben.

Vor einiger Zeit erschien eine kurze Mittheilung von Moll[4]) über das Einbetten von botanischen Präparaten in Paraffin. Er erwähnt darin, dass er auch in fixirten Präparaten sehr deutlich die Vacuolen in den jüngsten Meristemzellen gesehen hat. In einer

---

1) Berthold. Studien über Protoplasma-Mechanik. 1866, p. 155.

2) Frank-Schwarz. Die morphologische und chemische Zusammensetzung des Protoplasmas. — Cohn's Beiträge zur Biol. der Pflanzen. Bd. V, Heft 1, p. 136.

3) Frank-Schwarz, l. c. p. 167, 168.

4) J. W. Moll. De toepasing der paraffineinsmelting op botanisch gebied. Maandblad voor Natuurwetenschappen. 1887, No. 5 und 6.

vor Kurzem erschienenen vorläufigen Mittheilung von Wakker[1]) berichtet dieser über wiederholt beobachtete Theilung der Vacuolen bei der Bildung der Kristalle von oxalsaurem Kalke und von Eiweiss. Ueber beide Abhandlungen werde ich Gelegenheit finden, später noch ausführlicher zu sprechen.

Aus dem schon Mitgetheilten ergiebt sich also schon, dass das Resultat der folgenden Untersuchung lautet: Auch die jüngsten Zellen besitzen Vacuolen, umgeben von einer eigenen Wand; diese Vacuolen vermehren sich durch Theilung, und daraus entstehen alle später in den Zellen anwesenden Vacuolen.

In Kap. I werde ich den Beweis liefern, dass alle lebenden Pflanzenzellen, vielleicht mit Ausnahme der Bacterien, Cyanophyceae und Spermatozoiden, Vacuolen besitzen; dazu brauche ich mich natürlich allein zu beschäftigen mit den sehr jungen, bisher als vacuolenlos betrachteten Zellen. Es ist mir nun gelungen, Vacuolen zu finden in den Urmeristemzellen der Wurzel und des Stengels der Phanerogamen, in den Scheitelzellen der Cryptogamen und auch in den Fortpflanzungszellen höherer und niederer Pflanzen (Eizellen, Sporen, Pollenkörner u. s. w.). In den meisten Fällen gelang es mir auch, die Vacuolenwand mittelst Salpeterlösung oder Erwärmen zu isoliren.

Im 2. Kapitel glaube ich bewiesen zu haben, dass den Vacuolen ganz allgemein die Eigenschaft zukommt, sich durch Theilung zu vermehren; ich habe dieses nämlich beobachtet bei Pilzhyphen, Pollenkörnern, jungen Haaren und Meristemzellen. Wenn ich in diesen beiden Kapiteln von Vacuolen spreche, meine ich nur normale.

Im 3. Kapitel werde ich zeigen, dass die frühere Annahme, dass normale Vacuolen durch Einwirkung von Wasser an ganz willkürlichen Stellen des Protoplasmas auftreten, unrichtig ist; in allen früher zu Gunsten dieser Meinung angeführten Fällen war stets nur ein Anschwellen schon vorhandener Vacuolen zu constatiren. Ich hebe hier aber ausdrücklich hervor, dass ich hier die Vacuolenbildung bei der Desorganisation der Kerne und Chromatophoren aus-

---

1) J. H. Wakker, Aleuronkorrels zyn Vacuolen. Maandbl. voor Natuurwetenschappen, 1887. No. 5 en 6.

schliesse; das ist ja eine pathologische Erscheinung, die nicht mit der im normalen Leben vorkommenden verglichen werden darf, und wobei sich pathologische Vacuolen bilden.

Zum Schluss werde ich die Resultate dieser Arbeit zusammenstellen und eine kurze Zusammenfassung des jetzigen Standes der Vacuolenlehre hinzufügen.

I. Alle lebenden Zellen enthalten Vacuolen.

§ 1. Meristem der Phanerogamen.

Um zu beweisen, dass alle lebenden Pflanzenzellen Vacuolen enthalten, brauchen wir uns natürlich allein zu beschäftigen mit denjenigen, welche sich noch im meristematischen Zustande befinden. Bis jetzt wurden die allerjüngsten Zellen der Wurzel und des Stengels der Phanerogamen immer ohne Vacuolen abgebildet; bei näherer Untersuchung zeigt sich aber, dass man nie genau beobachtet hat. Dazu kam die vorgefasste Meinung, dass in Meristemzellen noch keine Differenzirung des Protoplasmas stattgefunden hatte; auch sind diese Zellen so dicht mit Protoplasma gefüllt, dass oft der Inhalt nicht zu unterscheiden ist. Dabei wurden die Präparate früher meist in Wasser untersucht, obschon bereits Nägeli auf die dabei stattfindende Desorganisation des Zellinhaltes gewiesen hatte. Man muss also den Vorschlag, den Strasburger im Botanischen Praktikum gemacht, folgen, und die Schnitte in 3—5 % Zuckerlösung untersuchen; hat man dabei die Präparate nicht dünner, aber auch nicht viel dicker wie eine Zelle gemacht, dann wird sich zeigen, dass alle Meristemzellen, also auch die Initialzellen des Stengels und der Wurzel, eine grosse Menge kleiner Vacuolen enthalten; am Besten untersucht man Längsschnitte, da man bei Querschnitten nicht immer ganz gewiss ist, dass man die jüngsten Zellen vor sich hat. Nun habe ich wohl nicht überall die Initialzellen finden können; es stellte sich aber immer heraus, dass auch da, wo man sie früher nicht erwartet hätte, doch ganz sicher Vacuolen zu sehen waren. Da ich in den verschiedensten Initialzellen Vacuolen gefunden habe, darf man dieses auch wohl ausdehnen auf alle Initialzellen, besonders weil diese Meinung noch gestützt wird durch die Anwesenheit von

Vacuolen in etwas älteren Zellen bei einer Anzahl von Pflanzen, wo man sie früher auch nicht gefunden hatte. Man achte darauf, dass Unsichtbarkeit der Vacuolen noch nicht gleichsteht mit Abwesenheit. Erstens kann das Protoplasma schon während der Präparation gestorben sein; dieses ist aber leicht zu bemerken, wenn man der Zuckerlösung Eosine zugesetzt hat, da das todte Protoplasma sich dann schön roth tingirt. Oft ist aber das Protoplasma entweder zu stark lichtbrechend, oder zu körnig, sodass man von dem Inhalte der Zellen nichts oder nur den Zellkern sehen kann; verschiedene Male fand ich bei derselben Art das eine Mal die Zellen der Wurzel- oder Stengelspitze gefüllt mit einem ganz undurchsichtigen Protoplasma, das andere Mal waren sehr deutliche Vacuolen zu sehen. Ich werde jetzt die Fälle nennen, wo es mir gelang, zwischen den Stärkebildnern und Körnern des Protoplasmas deutlich Vacuolen in der Wurzel- oder Stengelspitze zu sehen.

Betrachten wir zuerst die Wurzeln. In den jüngsten Zellen von 2—3 mm dicken Wurzeln von Allium Cepa, sah ich eine grosse Anzahl sehr kleiner Vacuolen; die grösste hatte ungefähr einen Durchmesser von 4 mikr., die kleinsten von 1 mikr. Nach Einwirkung einer 10procentigen, mit Eosine gefärbten Salpeterlösung hob sich das Protoplasma von der Zellwand ab und starb dabei, was aus der rothen Farbe, die es annahm, ersichtlich war. Wegen der grossen Menge des Protoplasmas war es jetzt meistens nicht mehr möglich, noch etwas von den Vacuolen zu sehen; dennoch konnte ich sie in einigen Fällen durch Druck aus dem Protoplasma hervortreten lassen, wobei sie sich als farblose Bläschen von der rothen Eosinlösung abhoben. Die Vacuolen hatten also eine Wand, die am Leben blieb, nachdem das übrige Protoplasma abgestorben war. Bei vorsichtiger Erwärmung unter dem Mikroskop platzten die Tonoplasten plötzlich, nachdem die Temperaturgrenze des Lebens überschritten war. In der Spitze der Hauptwurzel von Keimpflänzchen von Vicia Faba fand ich Vacuolen, deren Durchmesser 1—3 mikr. betrug, die in grosser Anzahl in jeder Zelle zu finden waren; einmal zählte ich selbst bis zu 23 in einer Zelle. Auch bei Keimwurzeln von Lupinus luteus und Zea Mais fand ich in den Initialzellen Vacuolen; bei der letzteren Pflanze konnte ich die Anwesenheit einer Vacuolenwand, wie bei Allium Cepa, durch Platzen demonstriren. Ein ausgezeich-

netes Object zum Auffinden der Vacuolen in den jüngsten Meristemzellen ist auch die Wurzel von Hydrocharis Morsus Ranae. Auf Tafel VII Fig. 1 sieht man 6 der jüngsten Zellen einer Luftwurzel von Phoenix reclinata im Längsschnitt. Die Wurzelspitze war ungefähr 1 dm in die Erde eingedrungen; man sieht, dass jede Zelle mehrere Vacuolen enthält von verschiedener Grösse (ungefähr 1 bis 6 mikr. im Durchmesser). Die übrigen untersuchten Wurzelspitzen gaben stets dasselbe Resultat; in allen Zellen wurden Vacuolen gefunden, bei Luftwurzeln von Phalangium lineare, Vanda tricolor, Tradoscantia Warscewizii und Scindapsus pertusus; bei dieser letztgenannten Pflanze konnte ich die Vacuolen mittelst einer 10prozentigen Salpeterlösung aus dem todten Protoplasma isoliren, und nachher durch Erwärmen oder Auswaschen mit Wasser zum Platzen bringen. Hemerocallis fulva besitzt im Urmeristem der Wurzelspitze eine grosse Anzahl sehr kleiner Vacuolen, welche sich mit Osmiumsäure fixiren lassen. Bis in den jüngsten Meristemzellen der Wurzelspitze von Keimpflänzchen von Citrus vulgaris kann man eine grosse Anzahl Vacuolen beobachten, die oft selbst eine ansehnliche Grösse erreichen können; etwas ganz ähnliches sieht man in den jüngsten Zellen der Wurzelspitze von Narcissus Pseudonarcissus. Dagegen findet man in den jüngsten Zellen der Luftwurzeln von Saccolabium Blumei sehr stark lichtbrechende Vacuolen. Auch die Wurzelspitze von Solanum tuberosum enthält in den jüngsten Zellen viele Vacuolen; diese sind aber oft unsichtbar durch die aussergewöhnlich starke Lichtbrechung des Cytoplasmas; diese macht die Beobachtung des Inhaltes (Kern, Leukoplasten, Vacuolen) sehr schwierig. Man kann aber mittelst einer 10procentigen eosinhaltigen Salpeterlösung das Protoplasma tödten und die Vacuolen sichtbar machen. In der Wurzelspitze von Musa Ensete fand ich in allen Zellen, auch den Initialzellen, Vacuolen. Endlich beobachtete ich noch in der Wurzelspitze von Cycas Rumphii grosse Vacuolen, sodass diese Zellen gar nicht meristematisch aussehen; durch die Einwirkung einer 10prozentigen eosinhaltigen Salpeterlösung wird das Protoplasma getödtet, aber eine Anzahl Vacuolen bleiben am Leben erhalten und liegen als ziemlich stark lichtbrechende Kugeln in der sie umgebenden Flüssigkeit.

Das beste Object zum Studiren des Vorkommens von Vacuolen in den Initialzellen der Stengelspitze ist Asparagus officinalis. Man

macht hierzu Längsschnitte durch die Knospe eines jungen Spargelstengels, der noch nicht über dem Boden hervorgekommen ist. Man sieht dann augenblicklich in allen Zellen viele Vacuolen, deren Durchmesser in den Initialzellen gewöhnlich eine Grösse von 2 bis 3 mikr. hat, bisweilen aber bis zu 8 mikr. steigen kann. In den Zellen befindet sich soviel Protoplasma, dass die Vacuolen bei der Plasmolyse ganz unsichtbar werden; dass aber eine mit Flüssigkeit gefüllte Höhle vorhanden ist, sieht man bei Erwärmung der normalen Zelle, da die Vacuolen bei Ueberschreitung der Temperaturgrenze plötzlich platzen. In den jüngsten Zellen der Stengelspitze von Aristolochia Clematitis (Fig. 2) und Tecoma radicans befinden sich 4—8 Vacuolen mit einem Durchmesser von 1—8 mikr. In den Meristemzellen der Knospen von Acer Pseudoplatanus und Fraxinus excelsior kann man oft durch die Undurchsichtigkeit des Protoplasmas nichts vom Inhalt unterscheiden; einige Male gelang es mir aber doch, Vacuolen darin zu entdecken; dasselbe gilt auch von Geranium pyrenaicum und Philadelphus coronarius. Ein besseres Object ist die Stengelspitze von Bryonia dioïca, wo ich mittelst einer 10procentigen Salpeterlösung das Cytoplasma tödtete, während die Vacuolenwand am Leben blieb; bei Erwärmung platzte darauf die Vacuole; dasselbe gelang bei den Vacuolen in den jüngsten Zellen des Stengels von Hippuris vulgaris. Eine sehr grosse Anzahl sehr kleiner Vacuolen fand ich in den jüngsten Zellen der Stengelspitze von Kerria japonica, Sorbus pyrifolia, Citrus vulgaris und Linum usitatissimum; bei der letztgenannten Pflanze sind sie aussergewöhnlich klein und oft durch die starke Lichtbrechung des Cytoplasmas schwer zu sehen. Die Urmeristemzellen der Knospen von Solanum tuberosum enthalten eine grosse Anzahl sehr kleiner Vacuolen; bei Einwirkung einer 10prozentigen Salpeterlösung stirbt das Cytoplasma, während die Vacuolen am Leben erhalten bleiben.

Aus den vorhergehenden Thatsachen darf man, wie mir scheint, wohl schliessen auf das allgemeine Vorkommen von Vacuolen in den allerjüngsten Meristemzellen, sowohl der Wurzel als des Stengels der Phanerogamen. Beim Wachsen der Zellen vermindert sich die Anzahl der Vacuolen; sie verschmelzen und in vielen Fällen findet man später nun eine einzige Vacuole; oft bleiben auch einige kleinere adventive Vacuolen erhalten.

§ 2. Scheitelzelle der Cryptogamen.

Da man bei den Meristemen der höheren Pflanzen nicht immer mit Sicherheit die Initialzellen nachweisen kann (es herrscht selbst noch Streit darüber, ob diese vorhanden sind, oder ob auch die Phanerogamen eine Scheitelzelle besitzen), untersuchte ich die Scheitelzelle der Cryptogamen. Die Scheitelzelle des Stengels von Keimpflänzchen von Salvinia natans (Taf. VII, Fig. 3) enthält meistens eine grosse Menge körnigen Protoplasmas; die Mikrosomen machen oft den ganzen Zellinhalt unsichtbar, meistens liegen sie aber um den Kern herum an der letzten Theilungswand, wie Pringsheim[1]) das schon abgebildet hat. Von dieser körnigen Masse aus gehen Cytoplasmastränge nach allen Seiten, bisweilen verzweigt. Zuerst bemerkt man nicht gleich, was sich zwischen diesen Strängen befindet, bei der Plasmolyse stellt sich aber heraus, dass man hier eine grosse Vacuole vor sich hat. Die Protoplasmastränge laufen also von dem Kern nach dem Wandbeleg; ich lasse es dahingestellt sein, ob sie sich dabei nicht einmal in die Fläche ausdehnen und so die Vacuole in mehrere kleine vertheilen. Bei der Plasmolyse mit einer 10prozentigen Salpeterlösung blieb das Protoplasma erst noch einige Zeit am Leben, nach einer halben Stunde aber war es doch getödtet. Jetzt trat der noch lebende Tonoplast theilweise aus dem Protoplasma heraus; beim Erwärmen unter dem Mikroskop konnte ich ihn zum Platzen bringen. In der Scheitelzelle von Salvinia befindet sich also eine von einer eigenen Wand umgebene Vacuole.

In der Scheitelzelle eines Ausläufers von Polypodium Paradiseae fand ich eine grosse Vacuole. Dasselbe war auch der Fall bei Luftwurzeln der Farnkräuter; ich untersuchte Alsophila australis und Cyathea medullaris. Letztere hat eine ziemlich grosse Scheitelzelle, die meistens nur eine einzige grosse Vacuole enthält; nur in einem Falle sah ich neben der grossen noch ein paar kleinere Vacuolen. In Fig. 4 auf Taf. VII habe ich eine Scheitelzelle von Cyathea abgebildet, deren Inhalt plasmolysirt worden war mit einer 8prozentigen Salpeterlösung, welche darauf mit Wasser ausgewaschen wurde. Man sieht, dass hierbei das Protoplasma gestorben war, wie sich noch

1) Pringsheim, Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. III, Taf. XXIV, Fig. 2.

näher zeigte aus der Rothfärbung mit Eosin; es lag dabei zum Theil gegen den Tonoplasten, theilweise in zwei der Zellecken. Die Vacuole hatte sich schon vor dem Zeichnen stark vergrössert und platzte kurz darauf. Auch die Zellen in unmittelbarer Nähe der Scheitelzelle zeigten vollkommen dieselbe Erscheinung, also eine lebende Vacuole zwischen gestorbenem Protoplasma.

Die Scheitelzelle einer Jungermanniaart, die auf der Todea rivularis des Amsterdamer botanischen Gartens wächst, enthält eine grosse und ein paar kleinere Vacuolen.

Von den Characeen wurde besonders Nitella flexilis untersucht, obschon ich mich doch überzeugt habe, dass das hier für Nitella angeführte auch für Chara gilt. Die meisten Schwierigkeiten hat man mit der Präparation, da man dafür sorgen muss, dass die Scheitelzelle nicht beschädigt wird; bei der geringsten Verwundung ist vom Inhalte nämlich nichts mehr zu unterscheiden. Bisweilen ist die Scheitelzelle so gefüllt mit Leukoplasten und anderen Mikrosomen, dass man die Vacuolen nicht sehen kann; in den meisten Fällen sieht man diese aber in grosser Anzahl um den Kern herum liegen; ihr Durchmesser wird höchstens 10 mikr. Nur ein Mal ist es mir gelungen, die Vacuolenwand zur Anschauung zu bringen; die grosse Menge Protoplasmas verbirgt bei Plasmolyse nämlich den ganzen Zellinhalt. Wenn man aber plasmolysirt hat mit einer 6prozentigen Salpeterlösung, kann man die Vacuolen durch Erwärmen von Zeit zu Zeit zum platzen bringen. In älteren Zellen hat ihre Zahl gewöhnlich abgenommen, während sie dabei an Grösse zunahmen (in den Zellen des jüngsten Blattkranzes 6—10 mit einem Durchmesser von 4—20 mikr). Das ist die Folge ihres theilweisen Verschmelzens, wie wir im folgenden Kapitel näher auseinander setzen werden; daneben finden aber auch wieder Theilungen statt, Eine dieser Vacuolen nimmt in der erwachsenen Zelle die ganze Zellmitte ein, während die anderen mit der Protoplasmaströmung mitgeführt werden. Um sich eine Vorstellung zu machen, wie der Inhalt der Scheitelzelle einer Characee aussieht, betrachte man die Abbildungen, welche Pringsheim[1]) von Zweigvorkeimen von Chara giebt.

---

1) Pringsheim, Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. III, Taf. XII, Fig. 3, 4.

Aus diesem Paragraphen ist also hervorgegangen, dass Scheitelzellen Vacuolen enthalten, umgeben von einer lebenden Wand; gewöhnlich sind diese Vacuolen ziemlich gross, wenigstens viel grösser wie diejenigen, welche in den Initialzellen der Phanerogamen vorkommen.

§ 3. Algen und Pilze.

Dass die niederen Algen ganz allgemein Vacuolen enthalten, die bestimmt sind, sich später zu theilen, ist genügend bekannt; ich brauche hier nur Spirogyra, Conferva, Vancheria und andere Fadenalgen zu erwähnen. Ausgeschlossen sind aber die Cyanophyceae, welche, wie es scheint, noch keine Vacuolen besitzen. Bei Pilzen sind die jüngsten Zellen oft gefüllt mit einem so stark lichtbrechenden Protoplasma, dass man vom Inhalte nichts unterscheiden kann. Hierdurch kam de Bary wohl zu folgendem Ausspruch über Peziza Sclerotiorum[1]): „Der Protoplasmakörper der lebenden Hyphen ist farblos, an den dünnen und jungen Verzweigungen von sehr homogenem Ansehen, an seinen stärksten Aesten dagegen oft durch sehr viele kleine wasserhelle Vacuolen in charakteristischer Weise fein netzförmig-schaumig." Dennoch findet man oft an derselben Pflanze Fäden, wo vom Inhalte nichts zu unterscheiden ist, und andere, wo man deutlich die jüngsten Zellen gefüllt sieht mit zahllosen Vacuolen; z. B. bei Cladosporium herbarum. Auch bei Penicillium, Mucor, Phycomyces und Stilbum sah ich eine grosse Anzahl von Vacuolen in den jüngsten Zellen des Myceliums.

§ 4. Generationsapparate der niederen Pflanzen.

Durch einige Beispiele werde ich zeigen, dass auch die Fortpflanzungsorgane der Algen und Pilze Vacuolen enthalten. In den meisten Fällen war dieses früher schon bekannt, nur füge ich hier noch einige Beispiele hinzu. Die Eizellen muss man mehrentheils ausschliessen, da ihr Protoplasma meistens zu undurchsichtig ist, sodass man nichts sicheres über den Inhalt kann mittheilen. Sporen haben oft dasselbe Uebel und dabei noch eine gefärbte oder mit Zeichnungen versehene Wand.

---

1) Ueber einige Sclerotinien und Sclerotienkrankheiten. Bot. Ztg. 1886. p. 381.

Betrachten wir zuerst einige Algen. Bei Spirogyra enthält jeder der zwei Protoplasten, welche die Zygospore bilden werden, eine Vacuole, mitgebracht aus der Zelle, woraus sie stammen. Aus den bekannten Figuren ersieht man gleich, dass die Vacuole in der Eizelle bei der Keimung sehr deutlich zu unterscheiden ist. Bei Vaucheria enthält das Oogonium eine Vacuole, die sich abgeschnürt hat von der grossen Vacuole der ganzen Pflanze. Sowohl Oosporen wie Zoosporen besitzen eine grosse Vacuole, wie schon bekannt ist seit der Untersuchungen Hofmeisters und Strasburgers über das Austreten des Zoosporeninhalts, die im 3. Kapitel besprochen werden sollen. Gerade wie jede andere Zelle besitzt auch das Oogonium von Oedogonium eine Vacuole, die später in der Oospore bleibt und bei der Keimung das Material liefert für die Tonoplasten der neuen Pflanze.

Bei Saccharomyces enthalten die abgeschnürten Zellen immer schon einige Vacuolen, wenn die Verbindung mit der Mutterzelle aufgehoben wird; bisweilen aber hat Saccharomyces sehr stark lichtbrechendes Protoplasma, und dann kann man wegen der Undurchsichtigkeit des Zellinhalts diese Beobachtung natürlich nicht machen. Ein besseres Object ist Dematium pullulans, bekanntlich die Sprosspilzform von Cladosporium herbarum. Wenn auch hier der Zellinhalt oft unsichtbar ist, hat man doch weniger von diesem Uebel zu leiden, wie bei Saccharomyces; dabei ist die Pflanze auch viel grösser. Man sieht nun, dass die aussprossenden Zellen bei ihrem Entstehen noch einen homogenen Inhalt haben; nach einiger Zeit werden aber Vacuolen sichtbar, die aus der Mutterzelle stammen. Erst nachdem dieses stattgefunden hat, entsteht die Theilungswand, wodurch die junge Zelle von der Mutterzelle geschieden wird. Bei Anwendung einer 10procentigen Salpeterlösung konnte ich die Vacuole isoliren, nachdem das übrige Protoplasma gestorben war, und darauf durch platzen die Anwesenheit einer Vacuolenwand constatiren. In den jungen Sporen von Mucor und Phycomyces sieht man sehr leicht die Vacuolen; bei Pilobolus cristallinus sind die erwachsenen Sporen ganz gefüllt mit einer Menge orangefarbiger Oeltröpfchen, daher ist vom Inhalt nichts zu unterscheiden; untersucht man die Sporen aber im jungen Zustande, dann zeigen sich die Vacuolen gleich. — Wenn ich auch Phytophtora infestans nicht untersucht habe, so ist aus den

bekannten Abbildungen doch gleich ersichtlich, dass das Sporangium ebensowohl wie die Schwärmsporen kleine Vacuolen enthalten. Bei einer Achlyaart war das Protoplasma im Oogonium so dicht, dass vom Inhalte nichts zu unterscheiden war, dagegen waren die jungen Zoosporangien voller Vacuolen, wodurch das Protoplasma schaumartig aussah. Mit Hülfe einer 10prozentigen Salpeterlösung gelang es mir auch jetzt wieder, den Tonoplast zu isoliren, nachdem das Protoplasma getödtet war, und ihn darauf in Wasser platzen zu lassen; in den Schwärmsporen sind auch sehr deutlich eine oder mehrere Vacuolen zu unterscheiden. Bei Penicillium glaucum sind die reifen Sporen stark lichtbrechend und dadurch nicht geeignet zur Untersuchung; dagegen findet man in allen Sporen, während sie noch jung sind, Vacuolen; dasselbe gilt auch für Stilbum. Bei Ascomyceten enthalten die jungen Asci eine grosse Anzahl von Vacuolen; ich sah dieses u. A. bei Hypocopra stercoraria. Auch in den jungen Sporen sieht man einige Vacuolen. Nachher färbt sich die Wand, sodass vom Inhalt nichts mehr zu unterscheiden ist. Das beste Object zur Untersuchung der Vacuolen in den Ascis ist Ascobolus furfuraceus. Es ist aber unrichtig, wie so oft geschieht, die jüngsten Asci ohne Vacuolen zu zeichnen. Es ist wahr, dass hier das Protoplasma in den meisten Fällen so dicht und körnig ist, dass vom Inhalte nichts zu unterscheiden ist, das verhindert aber nicht, dass man in einigen Fällen mehr durchsichtige junge Asci findet und darin denn auch sehr deutlich Vacuolen beobachten kann. Auch die jungen Sporen zeigen schon auf den ersten Blick Vacuolen; später werden diese dem Auge entzogen, zuerst durch das Körnigwerden des Protoplasmas, nachher durch die Färbung der Zellwand. De Bary hat Vacuolen abgebildet in den Asci der Peziza confluens[1]), wo er jedoch den Sporen einen homogenen Inhalt zuertheilt.

In diesem Paragraphen haben wir also gesehen, dass in vielen Fortpflanzungsorganen der Thallophyta Vacuolen vorkommen, wenn man sie auch früher da nicht vermuthete; wir dürfen darum wohl die allgemeine Schlussfolgerung ziehen, dass dasselbe für alle Generationsorgane der Algen und Pilze gilt, auch selbst da, wo vom Inhalte nichts zu unterscheiden ist.

---

1) Morph. und Biologie der Pilze etc. Fig. 39

Die übrigen Cryptogamen sind von mir nicht untersucht worden; hauptsächlich sind hier die Eizellen sehr undurchsichtig. Erwägt man übrigens, dass die Eizellen der Phanerogamen stets Vacuolen enthalten, wie wir im folgenden Paragraphen sehen werden, und zieht man dabei das soeben gewonnene Resultat in Betracht, so wird man wohl nicht mehr daran zweifeln, dass auch die Generationsorgane der Moose und Gefässkryptogame immer Vacuolen enthalten.

§ 5. Eizelle und Embryosack.

Das Vorkommen der Vacuolen in der Eizelle und dem Embryosack ist nicht gänzlich unbekannt; wenn auch Niemand mitgetheilt hat, dass er in der Eizelle Vacuolen gefunden hat, so haben doch verschiedene Forscher sie in ihren Figuren gezeichnet. Sachs gab u. A. Abbildungen der Vacuolen in den Corpuscula von Taxus canadensis[1]) und Juniperus communis[2]), und in der Eizelle und den jungen Embryonen von Funkia cordata[3]) und Strasburger in der Eizelle von Monotropa Hypopitys[4]), in den Archegonien von Picea vulgaris[5]) und in der Eizelle von Orchis pallens[6]). Schon Nägeli und Hofmeister wussten, dass der Embryosack eine grosse Anzahl von Vacuolen enthält, und sie benutzten das auch, als sie den Inhalt in Wasser brachten, wie das im 3. Kapitel näher beschrieben werden wird.

Ich wünsche hier noch einige eigene Untersuchungen anzuknüpfen. Erstens sah ich in den Corpuscula von Larix europaea ungefähr 10 Vacuolen, die den Zellraum bei lange nicht ausfüllten. In der Eizelle von Imantophyllum miniatum findet man 1 oder 2 grosse Vacuolen, während sie dagegen bei Scilla bifolia ziemlich klein sind. Der Embryosack von Fritillaria Meleagris enthält eine grosse Menge Protoplasma, wozwischen sich zahlreiche verschiedentlich grosse Vacuolen befinden. Auch die Eizelle von Fritillaria enthält 1—3 Vacuolen; es gelang mir hier, das Protoplasma bei An-

1) Sachs, Lehrbuch der Botanik. 1874. Fig. 354.
2) l. c. Fig. 355.
3) l. c. Fig. 399.
4) Zellbildung und Zelltheilung. 3. Aufl. 1880. Taf. V. Fig. 124—136.
5) Botanisches Praktikum. 1884. Fig. 153.
6) l. c. Fig. 168.

wendung einer 10procentigen Salpeterlösung zu tödten und die Vacuolenwand lebend zu erhalten; als ich Wasser zufügte, platzte sie. Embryosäcke von Tulipa spec., Hemerocallis fulva und Arum maculatum zeigten dasselbe wie Fritillaria. Die Eizelle derselben Tulipaart enthielt eine einzige grosse Vacuole; es gelang mir auch hier wieder die Anwesenheit eines Tonoplasten zu demonstriren. Auch in Eizellen von Narcissus poëticus und Iris germanica wurden Vacuolen gefunden.

Die am meisten geeignete Pflanze zum Studiren der Vacuolen im Embryosack, der Eizelle und dem Embryo ist Draba verna, da hier alle Entwickelungsstadien neben einander vorliegen. Der Embryosack ist auch hier wieder angefüllt mit Vacuolen; wenn man diese in Wasser, gefärbt mit Eosin, hinaustreten lässt, indem man einen leisen Druck auf das Deckglas ausübt, sieht man die Vacuolen anschwellen; sie bleiben aber ungefärbt. Dagegen fängt das Protoplasma langsam an zu sterben, ersichtlich aus der Absorption des Eosins; viele Vacuolen kommen dadurch ganz frei und treiben im Wasser, bis sie endlich platzen. Diese ganze Erscheinung wird im 3. Kapitel noch näher besprochen werden; mein Zweck war hier nur, zu zeigen, dass auch im Embryosack ein lebender Tonoplast vorhanden ist. Untersucht man die Eizelle der Draba verna, dann findet man auch hier einige Vacuolen; später sieht man in den noch wenigzelligen Embryonen auch wieder in jeder Zelle Vacuolen; darauf wird aber das Protoplasma so körnig, dass vom Inhalte der Zellen meistens nichts mehr zu sehen ist; im reifen Samen jedoch konnte ich die Vacuolen in den jüngsten Zellen der Wurzelspitze wieder finden. Auch in Embryonen von Cardamine hirsuta und Capsella Bursa Pastoris gelang es mir, die Vacuolen zu sehen, auch den lebenden Tonoplast mittelst einer 10prozentigen Salpeterlösung zu isoliren. Bereits von Sachs sind Vacuolen in den Embryonen von Allium Cepa[1]) und Viola tricolor[2]) abgebildet worden.

Die Schlussfolgerung dieses und des vorigen Paragraphen lautet also: Die weiblichen Generationsorgane aller Pflanzen enthalten Vacuolen, im Besitze einer eigenen Wand. Diese Tonoplasten

1) Lehrbuch der Botanik. 1874. Fig. 15.

2) l. c. Fig. 400.

stammen aus der Mutterpflanze. Daran wird wohl Niemand zweifeln, wo es gilt, die Herkunft der Vacuolen der Eizelle aus dem Embryosacke, der Ascomycetensporen aus der Asci, der Schwärmsporen von Achlya aus dem Zoosporangium und überhaupt bei den behandelten Beispielen unter den Algen. In den übrigen Fällen wird man aus Analogie dasselbe annehmen müssen.

§ 6. Cambiumzellen, Pollenkörner, Spermatozoïde.

Jeder, der die Protoplasmaströmung in den Cambiumzellen gesehen hat, weiss, dass diese Vacuolen enthalten; es zeigte sich mir, dass sie bei Betula, Acer nnd Aesculus eine centrale Vacuole besitzen, welche durch Protoplasmafäden, die vom Wandbelege zum Kern gehen, durchschnitten werden. Bei der Plasmolyse mit einer 10prozentigen Salpeterlösung starb der Wandbeleg sammt dem Kerne; in einigen Fällen konnten jetzt die noch lebenden Tonoplasten freigelegt werden.

Es ist genügend bekannt, dass Pollenkörner Vacuolen enthalten, wenn diese auch oft durch Zeichnung und Farbe der Exine unsichtbar sind; nur der Vollständigkeit halber theile ich hier noch ein paar Beispiele mit: Pollenmutterzellen von Doronicum macrophyllum, Pollenzellen derselben Pflanze, von Fritillaria imperialis, Polygonatum vulgare, Tulipa spec., Glycine sinensis und Cucurbita Pepo. Bei den vier letztgenannten Pflanzen konnte ich durch Anwendung eines Druckes auf das Deckglas den Inhalt der Pollenkörner in Wasser austreten lassen; das Protoplasma starb dabei sehr bald ab, während die Vacuolen sich ausdehnten, endlich platzten nnd so die Anwesenheit einer Wand zeigten.

Wegen der Kleinheit der männlichen Fortpflanzungsorgane der Cryptogamen konnte ich nichts sicheres ermitteln über das Vorkommen von Vacuolen in den Spermatozoïden. In der Literatur findet man aber ein paar Angaben von Strasburger[1]) über diesen Gegenstand. Dieser meint nämlich, dass die Blase, welche die Spermatozoïden der Farne mit sich herumtragen, die Vacuole der Spermatozoïdmutterzelle sei. Jedenfalls ist es sicher, dass diese Blase nicht nothwendig ist für die Befruchtung, da sie sich vor dieser

1) Jenaische Zeitschr. f. Naturw. Bd. X. Neue Folge Bd. III. Heft 4. 1876. S. 401.

Zeit losmachen kann, und ein Spermatozoïd ohne Blase ebenso gut im Stande ist die Eizelle zu befruchten. Dasselbe gilt nach der Angabe Strasburgers auch für die Spermatozoïden von Equisetum[1]). Es ist aber immerhin fraglich, ob nicht vielleicht noch andere Vacuolen in den Spermatozoïden sich befinden, wenn diese auch wegen ihrer Kleinheit bisher der Beobachtung entgangen sind. Hofmeister sah, dass bei Spermatozoïden der Characeae, von Pellia, Farnen und Equisetum, die zur Ruhe gekommen sind, Vacuolen auftreten; ob dieses aber normale oder pathologische Vacuolen sind, ist unentschieden. Die Beobachtungen von Strasburger sind in letzter Zeit bestätigt worden von Campbell[2]), welcher seine Beobachtungen aber nur an fixirten Objecten gemacht hat.

§ 7. Das Fixiren der Vacuolen.

Vor Kurzem erschien eine Abhandlung von Moll[3]), worin dieser eine Methode mittheilt zum Einschliessen botanischer Objecte in Paraffin, wodurch man sehr leicht ganze ununterbrochene Schnittserien von verschiedenen Pflanzentheilen herstellen kann. Mittelst dieser Methode bleibt aber auch die Structur des Protoplasmas ausgezeichnet erhalten; man kann z. B. wunderschöne Kerntheilungspräparate in dieser Weise bekommen.

Moll theilt auch ganz kurz mit, dass es ihm mit dieser Methode gelungen ist, in fixirten Präparaten die Vacuolen in den jüngsten Meristemzellen zu beobachten. Ich habe deshalb die Moll-sche Methode bei einigen Wurzelspitzen geprüft, und bekam wirklich nach einiger Uebung sehr gute fixirte Präparate wo in allen Meristemzellen Vacuolen zu finden waren; ich wandte die Methode an bei Keimwurzeln von Vicia Faba, Phaseolus multiflorus und vulgaris, Pisum sativum, bei jungen Wurzeln von Allium Cepa und bei Luftwurzeln von Scindapsus pertusus.

Ich fixirte die Wurzelspitzen (etwa 5 mm lang), nachdem ich an beiden Seiten ein Paar Längsstreifen weggeschnitten hatte, um das Eindringen der Flüssigkeit zu erleichtern, indem ich sie während 1—2 Tage in eine $^1/_2$—1 % Chromsäurelösung legte (Chrom-Osmium-

1) l. c. p. 402.

2) D. H. Campbell, Zur Entwicklungsgesch. der Spermatoz. Ber. der deutsch. bot. Gesellsch., 1887, Bd. V. p. 120.

3) J. W. Moll, Maandblad voor Natuurwetenschappen, 1887, No. 5 und 6.

Essigsäure ergab viel weniger gute Resultate). Darauf wurden die Objecte während 5—6 Stunden in strömendem Wasser ausgewaschen, und hierauf je 3—4 Stunden in 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 95 % und absolutem Alkohol gebracht. Die so gehärteten Wurzeln kamen jetzt während 6 Stunden in eine Mischung von gleichen Theilen abs. Alkohols und Terpentinöls, und darauf in reines Terpentinöl. Hierin blieben sie einen Tag und wurden nachher einen halben Tag lang in eine kaltgesättigte Lösung von Paraffin in Terpentinöl gelegt. Jetzt kamen die Objecte in eine Mischung von gleichen Theilen Paraffins und Terpentinöls, welche in einem Thermostaten während einer Stunde auf einer Temperatur von 25—30° C. gehalten wurde. Darauf wurde die Temperatur erhöht bis zu 47° C., und die Wurzeln kamen endlich in geschmolzenes Paraffin; nach 6 Stunden waren sie ganz davon durchzogen, und sie konnten jetzt in der bei Zoologen bekannten Weise eingeschmolzen werden. Das Paraffin wurde durch kaltes Wasser schnell abgekühlt. Zum Schneiden benutzte ich ein Schlittenmikrotom von Jung, vielleicht lässt sich aber besser ein Rochingmikrotom verwenden. Ich tingirte die Präparate nicht, weil das für meine Untersuchungen keinen Zweck hatte, sondern untersuchte sie einfach in Glycerin, nachdem ich das Paraffin mittelst Terpentinöls, und dieses mit Alkohol ausgewaschen harte. Dass es mir so bald gelungen, gute Präparate zu erlangen, verdanke ich hauptsächlich den Rathschlägen des Herrn Dr. Moll; ich erlaube mir demselben hier dafür meinen verbindlichsten Dank auszusprechen.

Wenn wir die zweifelhaften Spermatozoïden, Cyanophyceen und Bacterien ausschliessen[1]), wäre das allgemeine Resultat dieses Kapitels also:

Alle lebenden Pflanzenzellen enthalten Vacuolen.

II. Die Vermehrung der Vacuolen durch Theilung.

§ 1. Pilze.

Wie sich aus der Ueberschrift dieses Kapitels ergiebt, werde ich hier zeigen, dass die Vacuolen sehr allgemein die Fähigkeit haben, sich durch Theilung zu vermehren. Dieser Beweis ist nicht

1) Nachtrag. Bei Sarcina fand Fisch, bei Oscillaria ich selbst Vacuolen.

immer ganz leicht zu liefern, am Besten aber kann man die Vacuolentheilung beobachten in den Myceliumzellen der Pilze, hauptsächlich weil man dort bei seiner Untersuchung nicht von umliegenden Zellen gehindert wird; daneben ist es aber auch ein grosser Vortheil, dass man die Pilze in ihren natürlichen Lebensbedingungen beobachten kann (ich benutzte meistens verdünntes Rosinendecoct). Ich brachte die Pilzfäden in einen Tropfen der Nährlösung, entweder in eine Strasburger'sche feuchte Kammer, oder gleich unter ein Deckglas; im letzteren Falle musste aber die Flüssigkeit mehrmals erneuert werden. Wenn man jetzt nur etwas Geduld übt, kann man ziemlich oft sehen, wie eine Vacuole sich in mehrere kleinere theilt; oft beobachtet man auch eine Verschmelzung von Vacuolen. Irrthümer können hierbei sehr oft vorkommen, wie ich mit einem Beispiel erläutern will. Aspergillus Oryzae zeigt oft Erscheinungen, welche im ersten Augenblick aussehen, als wenn neue Vacuolen aus dem Protoplasma entstünden; dem ist aber nicht so. Erstens sieht man sehr oft Vacuolentheilung, und zweitens ist das Protoplasma oft sehr undurchsichtig, wegen seiner starken Lichtbrechung. Dieser letztere Umstand hat die Folge, dass es oft scheint, als wenn einige Zellen, besonders die jüngsten, gar keine Vacuolen enthalten; man kann diese aber doch finden, wenn man nur mit einer starken Salpeterlösung (mehr wie 10% stark, etwa 15%) plasmolysirt. Das Protoplasma stirbt dann, und kann mit Eosin roth gefärbt werden, allein die Vacuolen bleiben im Leben; man kann sie dann durch Erwärmen unter dem Mikroskop zum Platzen bringen. Ich möchte an dieser Stelle darauf aufmerksam machen, dass Plasmolyse bei Pilzen oft sehr langsam vor sich geht, wahrscheinlich weil die plasmolysirenden Flüssigkeiten schwer durch die äussere Zellhaut diffundiren. Ein Paar Mal sah ich Vacuolen scheinbar verschwinden, indem ihre Umrisse fortwährend undeutlicher wurden, sodass sie endlich ganz dem Auge entzogen waren; durch Plasmolyse stellte sich aber ihre Anwesenheit immer wieder heraus, sodass das Verschwinden nur dem stärker lichtbrechendwerden des Protoplasmas zugeschrieben werden musste. Wenn dieses Protoplasma später wieder durchsichtiger wird, bekommt man natürlich ganz den Eindruck, als wenn neue Vacuolen entstanden wären.

Wir wollen die Erscheinung etwas näher betrachten bei De-

matium pullulans. Auf Taf. VII habe ich in Fig. 5 dieselbe Zelle in einigen aufeinanderfolgenden Stadien abgebildet, um die Veränderungen sehen zu lassen, welche darin in der Zeit von $^3/_4$ Stunden ungefähr stattgefunden hatten. $2^3/_4$ Stunden früher besass die Zelle 4 grosse und 5 kleinere Vacuolen, die allmählich verschmolzen waren zu 2 grossen; die Protoplasmawand zwischen diesen beiden wurde fortwährend dünner und reisst endlich; darauf wurde Fig. 5a gezeichnet. Man sieht dass der Wandbeleg nicht gleichmässig um die Vacuole herum liegt, sondern sich an zwei Stellen α und β etwas angehäuft hat. Diese Anhäufungen sind die letzten Reste der Wand, welche die Vacuole früher getheilt hatte; α und β werden jetzt fortwährend kleiner und bewegen sich zu gleicher Zeit an der Vacuole entlang, wie in Fig. 5b zu sehen ist; in Fig. 5c sind sie endlich ganz verschwunden. Inzwischen hat sich eine ringförmige Ausstülpung in die Vacuole gebildet, die im optischen Durchschnitt natürlich aussieht wie zwei gegenüber einander liegende Ausstülpungen γ und δ in Fig. 5b; diese schieben allmählich hinauf und vergrössern sich dabei, sodass endlich nur noch ein enger Canal die beiden Hälften der Vacuolen verbindet (Fig. 5c). Man sieht diese beiden Ausstülpungen darauf verschmelzen, sodass die Vacuole sich in 2 kleinere getheilt hat (Fig. 5d); in der oberen dieser beiden sieht man wieder zwei Protoplasma-Ausstülpungen entstehen; die eine η bildet sich ganz oben, und bewegt sich allmählich nach unten (Fig. 5d und e); die andere dagegen entsteht gerade unten an der anderen Seite, bewegt sich nach oben und verschwindet wieder. In der unteren Vacuole wird der Tonoplast ringförmig eingestülpt (Fig. 5d, ε und ζ); ε und ζ vereinigen sich, sodass jetzt drei Vacuolen in der Zelle liegen (Fig. 5e). Dieser Zustand dauerte einige Stunden, worauf die Beobachtung beendet wurde. Aehnliche Erscheinungen kann man nun bei Dematium öfters sehen, obschon nicht immer in so kurzer Zeit wie der hier beschriebene Fall. Wie ich schon im vorigen Kapitel mitgetheilt habe, konnte ich bei Plasmolyse mit einer 10 % Salpeterlösung die Anwesenheit einer Vacuolenwand bei Dematium beweisen.

Bei Saccharomyces ist die Beobachtung viel schwieriger, erstens wegen der Kleinheit der Zellen, aber besonders, weil dieselbe Zelle das eine Mal ein stark lichtbrechendes Protoplasma enthält, das

andere Mal nicht, sodass der Inhalt bisweilen abwechselnd gut oder gar nichr zu unterscheiden ist. Die Vacuolentheilung geht hier übrigens viel langsamer wie bei Dematium.

In den Myceliumzellen von Penicillium glaucum ist die Theilung und Verschmelzung der Vacuolen sehr deutlich zu sehen (Fig. 6a, b). Von Zeit zu Zeit entsteht eine Ausstülpung des Wandbelegs; diese schiebt sich an der Vacuole entlang und verschwindet wieder; ein anderes Mal wird die Vacuole ringförmig eingestülpt, und durch Vergrösserung der Ausstülpung in zwei kleinere getheilt. Dasselbe kann man auch sehen in den Myceliumzellen von Phycomyces nitens Stilbum, Aspergillus Oryzae und Mucor racemosus. In der Scheitelzelle eines Blattes aus dem jüngsten Blattkranze von Nitella flexilis beobachtete ich auch einmal, dass eine Vacuole sich theilte; die Erscheinung ging hier aber sehr rasch, während ich das Präparat zeichnete. Bei der darauffolgenden Plasmolyse mit einer 10 % Salpeterlösung konnte ich mich von der Anwesenheit eines Tonoplasten überzeugen.

Wenn man die Fig. 5 noch einmal betrachtet, so wird man bemerken, dass das Protoplasma an den Stellen wo Ausstülpungen entstehen, weniger stark lichtbrechend ist, wie in dem übrigen Theile der Zelle; es ist da also stärker wasserhaltig. Im Zusammenhang hiermit wirft sich die Frage auf, was activ bei der Vacuolentheilung ist, der Tonoplast oder das Körnerplasma. Entstehen also diese Ausstülpungen, indem das Protoplasma sich da mit Wasser imbibirt, oder wird das Protoplasma passiv ausgedehnt und nimmt es in Folge dessen Wasser auf. Es war mir nicht möglich diese Frage zu lösen; die Vacuolenwand ist so dünn, dass sie in normalen Zellen meistens nicht zu sehen ist. Wenn man aber die Tonoplasten vergleicht mit Zellkernen und Chromatophoren, so wird man dazu genöthigt, auch bei der Vacuolenwand anzunehmen, dass sie sich activ an der Theilung betheiligt. Ich mache weiter aufmerksam auf die Aehnlichkeit zwischen dem Entstehen von Protoplasmafäden und Vacuolentheilung; der Unterschied zwischen diesen beiden ist wirklich nur ein quantitativer, man braucht sich die Fäden nur in die Fläche ausgedehnt zu denken, um eine Vacuole zu theilen; man vergleiche damit auch die Beschreibung, welche Hofmeister[1]) von

1) Pflanzenzelle, p. 45.

der Entstehung und dem Wiedereinziehen der Protoplasmafäden gibt. Die folgende Beobachtung Hofmeisters, welche Bezug hat auf das Auftreten von Protoplasmafäden in den Staubfädenhaaren der Tradescantia virginica, darf also auch auf die Vacuolentheilung bezogen werden. Die Stelle lautet bei Hofmeister[1]): „Sie bestehen zunächst nur aus hyaliner, körnchenloser Substanz; erst nachdem sie eine gewisse Länge erreichten, treten die dem Protoplasma eingelagerten körnigen Bildungen mit in sie ein“. Es kommt mir also vor, dass die Vacuolenwand an der Theilung sich activ betheiligt. Dieser Punkt muss aber durch spätere Untersuchungen ins Klare gebracht werden.

§ 2. Pollenkörner.

Pollenkörner kann man ausserhalb der Antheren unter dem Mikroskope untersuchen; man hat also auch hier, wie bei Pilzfäden, den Vortheil, dass man bei seinen Beobachtungen nicht gestört wird durch das umliegende Gewebe. Dabei hat eine 3—5 % Zuckerlösung beinahe dieselbe Zusammensetzung wie die Narbenflüssigkeit, sodass Pollen sich beinahe in einem natürlichen Medium befindet, wenn man ihn in dieser Lösung untersucht. Pilzfäden zu untersuchen hat aber einen Vortheil über Pollenkörner, weil im ersten Fall die Vacuolentheilung schneller stattfindet. Man muss dabei junge Pollenzellen nehmen, weil das Protoplasma in den älteren zu undurchsichtig ist, und auch die Exine oft durch Leisten und Tüpfel, oder eine dunkle Färbung, den Inhalt vor dem Auge verdeckt.

An jungen Pollenkörnern von Polygonatum vulgare kann man das Verschmelzen der Vacuolen jeden Augenblick beobachten. Auch die Theilung ist oft zu sehen; z. B. in dem auf Taf. VII, Fig. 7a—c abgebildeten Falle. Als ich die Vacuole zuerst sah (Fig. 7a), hatte sie eine langgedehnte Gestalt und war dabei in der Mitte etwas eingeschnürt. Die linke Protoplasma-Ausstülpung vergrösserte sich jetzt allmählich, zu gleicher Zeit wurde der Kern sichtbar, dieser hatte bis dahin wahrscheinlich unter der Vacuole gelegen (Fig. 7b). Die rechte Protoplasma-Ausstülpung, welche zuerst wieder beinahe verschwunden war, vergrösserte sich darauf wieder, und vereinigte sich

---

1) l. c. p. 44, 45.

endlich mit derjenigen der anderen Seite, sodass man jetzt zwei Vacuolen mit dazwischen liegendem Kern sieht (Fig. 7c). Mit einer 10 % Salpeterlösung wurden darauf Protoplasma und Kern getödtet, während der Tonoplast am Leben erhalten wurde; bei darauffolgender Erwärmung unter dem Mikroskop platzte die Vacuole. Bei jungen Pollenkörnern von Glycine sinensis und Scopolina scorpioïdes beobachtete ich oft die Theilung und Verschmelzung der Vacuolen und ebenso bei sehr jungen Zellen aus Staubfäden von Lilium candidum.

§ 3. Junge Haare.

Junge Haare sind ausgezeichnete Objecte zum Studium der Vacuolentheilung; man wird hier nicht belästigt durch umliegende Zellen, kann aber die Haare nicht in einem natürlichem Medium untersuchen, sondern muss sie stets in eine 3—5 % Zuckerlösung bringen. Die Theilung der Vacuolen findet hier oft sehr schnell statt, wie bei den jungen Haaren aus einer Knospe von Bryonia dioica (Fig. 10a—c). Man sieht auf der Abbildung ein Haar, wovon eine Zelle ganz sichtbar ist, während die andere theilweise von der Epidermis verdeckt wird. Als ich die Zellen zuerst zeichnete, besass die linke 3 Vacuolen mit dazwischenliegendem Kern. In 15 Minuten fanden nun folgende Veränderungen statt; erst theilte sich die untere Vacuole in zwei andere, und während die eine von diesen beiden mit der daneben liegenden kleinen Vacuole verschmolz, theilte sich die andere noch einmal. In der Basalzelle sah ich zwei Vacuolen durch eine dünne Plasmawand getrennt; nach 15 Minuten waren diese beide verschmolzen, worauf sich an anderer, schon vorher angedeuteter Stelle eine kleine Vacuole von der grossen abschnürte; man beachte hier auch die Veränderung der Gestalt der grossen Vacuole; man sieht daraus, dass das Protoplasma fortwährend in Bewegung ist. Ein anderes Mal sah ich eine Vacuole von Bryonia sich plötzlich theilen, während ich eben damit beschäftigt war, sie zu zeichnen.

Auch bei den jungen Haaren von Cucurbita Pepo beobachtete ich eine sehr deutliche Vacuolentheilung. Ich benutzte meistens Keimpflänzchen, bei denen sich die Cotylen eben geöffnet hatten. Ich fand hier u. A. ein Haar (Fig. 13a), das 3 grosse Vacuolen

enthielt und ausserdem an der Spitze noch 6 kleinere; nach anderthalb Stunden (Fig. 13b) waren die 2 oberen grossen Vacuolen verschmolzen, während die 6 kleineren sich zu einer Vacuole vereinigt hatten. Zwei Stunden später (Fig. 13c) hatte sich die mittlere Vacuole wieder in zwei kleinere getheilt. Mittelst der bekannten Methode konnte ich hier wieder die Anwesenheit eines Tonoplasten beobachten.

In jungen Haaren einer Rhododendronknospe sah ich eine sehr deutliche Vacuolentheilung stattfinden; dadurch bilden sich eine grosse Anzahl Vacuolen, wovon viele nachher sich um die Hauptvacuole herumlegen, und dann ihre ursprüngliche Grösse behalten haben.

Die Haare der Blattepidermis von Keimpflänzchen von Helianthus annuus zeigen sehr schöne Vacuolentheilung, wie in dem in Fig. 12a und b abgebildeten Fall. Die beiden Zellen eines Haares enthielten je eine Vacuole; in $2^{1}/_{4}$ Stunden fanden aber Veränderungen in der Gestalt nicht allein, sondern auch Theilungen der Vacuolen statt. In der Basalzelle theilte sich die Vacuole erst in zwei, und darauf eine von diesen wieder in drei kleinere Vacuolen, während sich in der anderen Zelle durch Theilung nur zwei kleinere Vacuolen bildeten. Die übrigen jungen Haare, wo ich Vacuolentheilung beobachtete, kamen vor in Knospen von Lycium europaeum, Lupinus luteus und Ribes aureum, und auf den jüngsten Blättchen von Philadelphus coronarius. Dieselbe Erscheinung sah ich auch in den Haaren, welche die Scheitelzelle einer Jungermannia beschützten. Zuletzt nenne ich noch die weiblichen Paraphysen von Funaria hygrometica. Man findet dort meistens eine grossse Masse Protoplasma und eine Anzahl ziemlich kleiner Vacuolen. Die Verschmelzung dieser letzteren ist sehr oft zu beobachten; einmal sah ich auch, dass eine kleine Vacuole sich plötzlich von einer grösseren abschnürte und darauf wieder mit einer anderen verschmolz.

§ 4. Meristemzellen.

Bei den in diesem Paragraph zu besprechenden Fällen muss man die zu untersuchenden Pflanzentheile in Schnitte zerlegen. Dadurch ist es meistens nicht sehr leicht eine Vacuolentheilung zu sehen, besonders weil diese hier viel langsamer vor sich geht wie

in anderen Fällen; wenn man aber genügend viele Präparate fortwährend beobachtet, findet man wohl einmal eine sich theilende Vacuole. Natürlich muss man die Schnitte in eine 3—5procentige Zuckerlösung bringen, und diese öfters erneuern.

Das erste Beispiel, welches ich hier zu besprechen wünsche, betrifft Embryonen von Capsella Bursa Pastoris. Ich beobachtete hier verschiedene Male Vacuolentheilung, am leichtesten im Keimträger. In Fig. 8a—c habe ich eine solche Zelle in verschiedenen Stadien gezeichnet. In Fig. 8a sieht man zwei Vacuolen mit dazwischenliegendem Kern; die rechte Vacuole ist in der Mitte etwas eingeschnürt; diese Einschnürung wurde jetzt fortwährend grösser, bis die [Vacuole sich in zwei kleinere getheilt hatte, und nach anderthalb Stunden die Zelle aussah wie in Fig. 8b angedeutet ist. Die untere von diesen beiden Vacuolen hatte eine ziemlich unregelmässige Gestalt; ihre Form wurde aber während der folgenden Stunde allmählich mehr elliptisch, wodurch die beiden Vacuolen sich theilweise bedeckten (Fig. 8c). Bei Blüthentheilen beobachtete ich übrigens noch Vacuolentheilung in Zellen einer jungen Eiche, von Limnanthemum cordatum und Aristolochia Clematitis. Auch in jungen, sich noch in meristematischem Zustande befindlichen Antheren von Hippuris vulgaris und Scopolina scorpioïdes sah ich verschiedene Male eine Theilung von Vacuolen stattfinden.

Junge Blatt-Epidermiszellen von Vitis vinifera enthalten Vacuolen mit einem stark lichtbrechenden Inhalt; es war daher ziemlich leicht, hier einige Male Vacuolentheilung zu beobachten. Auch die jüngsten Blätter von Kerria japonica zeigten mir dieselbe Erscheinung; ich sah z. B. eine Zelle die zwei grosse und eine Anzahl kleinerer Vacuolen enthielt; jede von den beiden erstgenannten theilte sich, worauf eine von den so entstandenen Vacuolen mit einer der kleinen verschmolz. Vacuolentheilung wurde auch beobachtet in den jungen Blatt-Epidermiszellen von Geranium pyrenaïcum, Linum usitatissimum und Solanum tuberosum.

In den Meristemzellem der Stengelspitze von Asparagus officinalis sah ich eine Theilung der Vacuolen stattfinden; in einer Zelle (Fig. 11a und b) lag z. B. eine Vacuole, welche allmählich eingeschnürt wurde durch eine ringförmige Protoplasma-Ausstülpung, welche sich im optischen Durchschnitt wie zwei einander gegenüber

liegende Ausstülpungen verhielt; diese wurden allmählich grösser, sodass nur noch eine enge Verbindung zwischen den beiden Hälften der Vacuole übrig blieb; nach $1^1/_2$ Stunden waren die beiden Ausstülpungen verschmolzen und war die Vacuole also in zwei kleinere getheilt worden. Ich erwähne hier noch, dass es mir auch im Meristem von Aparagus gelungen ist, die Anwesenheit eines Tonoplasten zu zeigen. Vacuolentheilung wurde auch beobachtet in jungen Meristemzellen der Stengelspitze von Hydrocharis Morsus Ranae, Sorbus pyrifolia und Citrus vulgaris.

Endlich sah ich auch noch Vacuolentheilung in jungen Meristemzellen der Wurzelspitze von Phoenix reclinata, Musa Ensete, Hemerocallis fulva, Narcissus Pseudo-Narcissus und Vicia Faba. Zwei Zellen der letztgenannten Pflanze sind in Fig. 9a und b abgebildet worden in zwei Stadien 20 Minuten nach einander. In der linken Zelle fand eine Vacuolentheilung in der rechten eine Verschmelzung von Vacuolen statt.

§ 5. Vacuolentheilung von anderen Forschern beobachtet.

Aus den bereits bekannten Thatsachen konnte man schon folgern, dass es nicht unmöglich war, dass die Vacuolen sich in der lebenden Zelle theilen. Künstlich hatte man ja schon früher Vacuolen sich in mehrere Theile spalten sehen.

Schon Dutrochet[1]) hatte gezeigt, dass man den Inhalt von Internodialzellen von Chara fragilis in zwei Hälften theilen kann; er versuchte dieses mittelst Ligaturen um diese Zellen, nachdem er die Rinde weggenommen hatte. Das Protoplasma verhielt sich jetzt als wenn zwei Zellen da wären; jede Abtheilung hatte eine Vacuole, rund herum fand die Protoplasmaströmung in der gewöhnlichen Art und Weise statt. Pringsheim[2]) kam zu demselben Resultate bei Nitella flexilis. Er machte aber keine Ligatur um die Zelle, sondern richtete auf einer bestimmten Stelle den Focus einer Linse, wodurch ein Bündel Sonnenstrahlen fiel. Dadurch starb dieser Theil

1) Sur la circulation des fluides chez le Chara fragilis. Ann. de Sc. nat. 2e Sér., t. 9, 1838.

2) Pringsheims Jahrb. f. wiss. Bot., Bd. XII, p. 324.

der Zelle, aber der Inhalt der übrigen beiden Hälften verhielt sich jetzt wieder, als wenn es nur zwei Zellen gäbe.

Es war auch schon längst bekannt, dass ein Protoplast sich, bei der normalen Plasmolyse, in zwei oder mehr Theile spalten kann; dabei theilt sich natürlich auch die Vacuole. Besonders in langgedehnten Zellen kann man diese Erscheinung öfters beobachten, wie z. B. in Wurzelhaaren, wo Hofmeister dieses schon vor 20 Jahren gesehen hat, wie aus seinen bekannten Figuren[1]) von der Plasmolyse in Wurzelhaaren von Hydrocharis Morsus Ranae ersichtlich ist.

In allen diesen Fällen kannte man aber die Vacuolenwand noch nicht; es ist selbstverständlich, dass diese sich bei den soeben genannten Erscheinungen auch in zwei oder mehr Theilen spalten musste. De Vries hat dieses auch beobachtet, nachdem der übrige Protoplast getödtet war, z. B. bei Spirogyra[2]).

Seit kurzer Zeit sind wir auch bekannt geworden mit einem Falle, wo Vacuolentheilung in der normalen lebenden Zelle stattfindet, nämlich in den Tentakeln von Drosera. De Vries[3]) entdeckte, dass die von Darwin zuerst gesehene Agregation hauptsächlich besteht in einer fortwährenden Theilung der grossen rothen Vacuole in eine Anzahl kleinerer, und dabei eine Volumabnahme dieser Vacuolen. Wo wir jetzt wissen, dass diese erstgenannte Thatsache nicht mehr allein dasteht, sondern dass es eine allgemeine Eigenschaft der lebenden Tonoplaste ist, sich zu theilen, müssen wir bei Drosera nur an einen besonderen Fall einer allgemeinen Regel denken, wobei in Folge des Reizes die Vacuolentheilung viel schneller stattfindet, wie in anderen Zellen. Vielleicht steht dieses damit im Zusammenhang, dass auch die Circulation in gereizten Zellen viel rascher vor sich geht.

In der letzten Zeit hat Berthold einige Beobachtungen mitgetheilt, die anzudeuten scheinen, dass er ein paar Mal Vacuolentheilung beobachtet hat. Erstens theilt er mit, wo er von gerbstoff-

1) Pflanzenzelle, Fig. 11.

2) Plasm. Studien über die Wand der Vacuolen. Pringsheim's Jahrb. Bd. XVI. S. 499, Taf. XXIV, Fig. 1. A—C.

3) Bot. Ztg. 1886. S. 1.

führenden Vacuolen spricht[1]): „Zerfall und Wiedervereinigung derartiger Massen dürfte demnach sehr häufig sein.“ Weiter beschäftigt er sich mit der Bildung der grossen Schwärme von Vaucheria[2]), und wenn da auch manche Mittheilungen vorkommen, wo er das Unsichtbarwerden der Vacuolen wegen der grossen Menge des auftretenden Oels einem Verschwinden gleichstellt, die also meiner Meinung nach einer genauen Prüfung noch bedürfen, so beschreibt er doch im Vorderende der Spore „das Auftreten einer grossen ellipsoidischen Vacuole, welche sich durch Abschnürung von dem Saftraum des übrigen Fadens abgetrennt hat“.

Pfeffer hat in seiner Abhandlung „Ueber Aufnahme von Anilinfarben in lebenden Zellen“[3]) einige sehr hübsche Beweise für die Vermehrung der Vacuolen durch Theilung beigebracht. Er theilt nämlich das Folgende mit[4]), wo er spricht über das Wachsen von Wurzeln, welche Methylenblau in ihren Vacuolen gespeichert hatten, in Regenwasser: „Mit Verweisung auf die näheren Belege in den speciellen Mittheilungen sei hier noch bemerkt, dass beim Wachsen der im Zellsaft gespeicherte Farbstoff auf die Tochterzellen sich vertheilt und natürlich mit dem Wachsen im Wasser ein allmähliches Ablassen des sich vergrössernden Pflanzentheils erzielt wird. Ohne die Sache näher verfolgt zu haben, vermag ich doch so viel zu sagen, dass bei Vorhandensein körniger Ausscheidung zuweilen diese auf nur eine der Tochterzellen übergeht.“ Die speciellen Mittheilungen[5]) beziehen sich auf Trianea bogotensis, Azolla caroliniana und Lemna minor. Die gleichmässige Vertheilung des gelösten Farbstoffes beim Wachsthum auf die Vacuolen der Tochterzellen lässt sich natürlich allein erklären, indem man annimmt, dass diese sich durch Theilung aus der Vacuole der Mutterzelle gebildet haben. Dass körnige Ausscheidungen oft nur in der Vacuole der einen Tochterzelle gefunden werden, ist auch sehr natürlich, weil diese Ausscheidungen oft nur an der einen Seite der Vacuole liegen[6]) und also bei der Durchschnürung die eine Vacuole ganz frei von Ausscheidungen sein muss.

---

1) Studien über Protoplasmamechanik. Leipzig 1886. S. 165.
2) l. c. S. 291.
3) Untersuchungen a. d. Bot. Inst. zu Tübingen. Bd. II. Heft 2. S. 179.
4) S. 197.
5) l. c. S. 211, 213, 215.
6) l. c. Taf. II, Fig. 7.

In seinen jüngsten Abhandlungen über die Kalkoxalatkristalle[1]) und die Aleuronkörner[2]), worüber ich nachher noch Näheres mittheilen werde, theilt auch **Wakker** einige Fälle von Theilung und Verschmelzung von Vacuolen mit. Er entdeckte nämlich, dass Aleuronkörner nichts Anderes sind wie Vacuolen, welche von Eiweiss dicht erfüllt sind. Im reifenden Endosperm theilt sich nämlich die grosse Vacuole in eine Anzahl kleinerer, welche gleichfalls Eiweiss enthalten; wenn ein Theil dieses Eiweisses kristallisirt, bekommt man die bekannte Form der Aleuronkörer mit Kristalloïden. Besonders bei Samen von Ricinus war dieses gut zu beobachten. Bei der Keimung lösen sich die Kristalloïde wieder in den Zellsaft, darauf verschmelzen alle diese kleinen Vacuolen wieder zu einer grösseren, welche die ganze Zelle zuletzt wieder ausfüllt.

Endlich hat **Fisch** noch Beobachtungen bei pulsirenden Vacuolen gemacht, woraus hervorgeht, dass auch diese sich durch Theilung vermehren[3]).

§ 6. Zusammenhang zwischen Vacuolentheilung und Zelltheilung.

Einmal sah ich bei Cladosporium herbarum eine Zelltheilung stattfinden; hier hatte sich die Vacuole erst in eine grosse Anzahl kleinerer gespaltet, und darauf war in der Zelle eine Wand gebildet, sodass jede der beiden neuen Zellen einige dieser Vacuolen enthielt.

Etwas Aehnliches sah ich zweimal bei Epidermishaaren der jüngsten Blätter von Keimpflänzchen von Cucurbita Pepo. Der eine Fall ist abgebildet worden in Fig. 14a—b; einige Stunden, bevor ich die Fig. 14a zeichnete (das geschah Mittags 4 Uhr), enthielt das Haar eine einzige Vacuole; diese theilte sich in zwei andere, wozwischen der Kern lag (Fig. 14a); als ich am folgenden Morgen mir das Präparat wieder ansah, beobachtete ich, dass die Zelle sich getheilt hatte und dass jede der beiden neuen Zellen eine Vacuole enthielt, und wie ersichtlich war, dieselbe, welche sich erst durch Theilung

1) J. H. **Wakker**, De vorming der kristallen van Oxalzure kalk in de plantencel. Maandbl. voor Natuurwetenschappen. 1887. No. 7.

2) J. H. **Wakker**, Aleuronkorrels zyn Vacuolen. Maandblad voor Natuurwetenschappen. 1887. No. 5 und 6.

3) C. **Fisch**, Unters. über einige Flagellaten und verw. Organismen. Zeitschrift f. wiss. Zoologie, Bd. XLII, 1885, p. 47.

aus der ursprünglichen Vacuole gebildet hatte (Fig. 14b). Im anderen Falle hatte ich keine Vacuolentheilung vorangehen sehen: ein einzelliges junges Haar enthielt 3 Vacuolen (Fig. 15a); am folgenden Tage war auch hier wieder eine Scheidewand entstanden, wobei die eine neu entstandene Zelle 1 Vacuole, die andere 2 Vacuolen enthielt (Fig. 15b).

Ich glaube, man darf als eine allgemeine Regel betrachten, dass eine Zelltheilung immer von einer Vacuolentheilung vorangegangen wird, oder dass beide sich gleichzeitig vollziehen. Der erste Fall ist vielleicht nicht immer nothwendig in Meristemzellen, wo eine grosse Anzahl von Vacuolen vorhanden ist, sodass bei einer Zelltheilung jede Tochterzelle auch wieder mehrere Vacuolen enthalten wird; hierdurch wird es möglich, dass auch die Tochterzellen sich ohne vorhergegangene Vacuolentheilung noch einmal theilen. Wahrscheinlich ist dieser Fall aber nicht, weil alle Meristemzellen so viele Vacuolen enthalten, und diese sich so allgemein theilen.

Dass Zelltheilung und Vacuolentheilung sich zu gleicher Zeit vollziehen, findet gewiss statt bei vielen Algen, und vielleicht in einigen anderen Fällen, wo eine einzige Vacuole sich in der Zelle befindet, wie in vielen Haaren und im Zelltheilungsfall, den Treub[1]) abgebildet hat bei einer Zelle aus der Samenknospe von Epipactis palustris. Für Algen können wir als Beispiel nehmen Spirogyra; man weiss, dass hier eine einzige Vacuole vorhanden ist, welche bei der Zelltheilung von der neu entstehenden Wand eingeschnürt wird, derart, dass Vacuolentheilung und Zelltheilung zu gleicher Zeit stattfinden.

§ 7. Schlussfolgerungen.

Die Schlussfolgerung, welche man aus den in diesem Kapitel mitgetheilten Thatsachen ziehen muss, lautet, dass Vacuolentheilung eine allgemeine Eigenschaft der Vacuolen in jungen Zellen ist. In Kapitel I haben wir gesehen, dass alle lebenden Zellen Vacuolen enthalten, von einer eigenen Wand umgeben. Eine Neubildung von Vacuolen braucht man also jetzt nicht mehr anzunehmen; im Gegen-

1) Quelques recherches sur le rôle du noyau dans la div. des cellules végétales. Arch. Neerl. XV, 1880, Pl. III, Fig. 12.

theil, aus den hier mitgetheilten Untersuchungen ergiebt sich, dass Tonoplasten sich ganz verhalten wie Kerne und Chromatophoren, und also die Eigenschaft besitzen sich in jungen Zellen mittelst Theilung zu vermehren, damit bei der Zelltheilung jede Zelle die Organe des Protoplasmas bekommt, welche sie zu ihrem Fortbestehen braucht. Also sind alle Vacuolen einer Pflanze durch fortwährende Theilung aus der Vacuole der mütterlichen Eizelle entstanden; diese Vacuole stammt aber wieder aus dem Embryosack und daher auch wieder aus der Eizelle der vorigen Mutterpflanze, u. s. w.

Es ist jetzt aber noch fraglich, ob die Vacuole der befruchteten Eizelle unverändert dieselbe ist wie der der unbefruchten; besitzt also der Tonoplast in der befruchteten Eizelle Eigenschaften von der Vater- und Mutterzelle oder nur von der letzteren? Dieselbe Frage gilt natürlich auch für Chromatophoren; wir wollen hier aber nur Vacuolen besprechen. Es bestehen Bastarde von gefärbten Pflanzen, wo die Farben der Vater- und Mutterpflanzen vereinigt gefunden werden, entweder in derselben oder in verschiedenen Zellen. Darwin[1]) theilt mit, dass Kölreuter Bastarde bekommen hat von einer weissen und einer gelben Varietät von Verbascum Lychnitis, welche eine zwischen den beiden elterlichen Pflanzen intermediäre Farbe zeigten. Ebenso erzählt auch Darwin[2]) dass es Knigt gelang, bunte Trauben zu bekommen, indem er Pollen der buntblauen Aleppotraube auf die Narbe der weissen Traube brachte. Hoffmann[3]) macht uns bekannt mit einigen Beobachtungen über die Kreuzung von Mimulus cardinalis und moschatus, er bekam dabei einen Bastard, welcher orangeroth gefärbt war mit einer dunkelrothen Kehle.

Ich habe früher gezeigt und werde es nachher noch kurz hervorheben, dass die Ursache der Farbe des Zellsaftes gesucht werden muss in der Vacuolenwand, und wenn also ein Bastard einen anders gefärbten Zellsaft besitzt, muss dieses eine Folge sein von anderen Eigenschaften des Tonoplasten.

Wenn also die Vacuolenwand bei Bastarden die Eigenschaften der Vater- und Mutterpflanzen annimmt, wird dieses auch bei der

1) Animals and Plants under Domestication. 2nd ed., 1882, II, p. 81.

2) l. c. I. p. 419.

3) Bot. Zeitg, 1884, Sp. 216.

normalen Befruchtung stattfinden müssen. Es liegt also jetzt die Frage nahe, ob sich vielleicht bei der Befruchtung weibliche und männliche Vacuolen vereinigen, oder ob nur der befruchtete Kern einen gewissen Einfluss auf die Vacuole der Eizelle ausübt? Wenn wirklich die Spermatozoïden keine Vacuolen enthalten, so ist natürlich die erste Hypothese ausgeschlossen; bewiesen ist das aber noch gar nicht. Die Frage lässt sich natürlich auch ausdehnen nicht allein auf Chromatophoren, sondern auch auf Körnerplasma und Hautschicht. Weiteren Untersuchungen muss es vorbehalten bleiben, diese schwierige Frage zu lösen.

Ich habe in diesem Kapitel fortwährend gewiesen auf eine Gestaltsänderung der Vacuolen auch in den allerjüngsten Meristemzellen; nicht nur findet fortwährend Theilung und Verschmelzung von Vacuolen statt, sondern es entstehen auch jeden Augenblick Protoplasma-Ausstülpungen, welche nachher wieder eingezogen werden. Das Protoplasma ist also auch in den jüngsten Zellen in fortwährender Bewegung. Nach der allgemeinen Auffassung würde die Protoplasmabewegung erst in einigermaassen älteren Zellen auftreten; man folgt hierin Hofmeister nach, welcher hierüber das Folgende geschrieben hat[1]): „Derartige Anordnung des Protoplasmas, und strömende Bewegungen in den Streifen und Strängen desselben treten nicht früher ein, als bis das Volumen des von wässeriger Flüssigkeit erfüllten Innenraumes der Zelle dasjenige des Protoplasmas derselben erheblich übertrifft. So lange die Vacuole in der jungen Zelle noch nicht vorhanden, oder so lange ihr Durchmesser nicht um ein Vielfaches den des Wandbeleges aus Protoplasma übertrifft, wird das Protoplasma stets in Ruhe gefunden."

Wenn wir noch einmal den Inhalt dieses Kapitels im Zusammenhang mit dem Vorhergehenden kurz zusammenfassen, bekommen wir die folgenden Resultate:

1. In allen jungen Zellen findet Theilung und Verschmelzung von Vacuolen statt.
2. Die Vacuole der Eizelle liefert durch fortwährende Theilung alle Vacuolen der jungen Pflanze.
3. Die Tonoplaste stehen also als Organe des Proto-

1) Hofmeister, Pflanzenzelle, p. 35.

plasmas in gleichem Range mit Kernen und Chromatophoren.

4. Schon in den jüngsten Zellen findet Protoplasmabewegung statt; lebendes Protoplasma ist also fortwährend in Bewegung.

III. Vergleichung zwischen normalen und pathologischen Vacuolen.

§ 1. Einleitung.

So lange man einen Unterschied zwischen normalen und pathologischen Vacuolen nicht kannte, musste man sich natürlich die Frage stellen, ob wirklich Vacuolen sich durch Theilung vermehren, wenn doch allerlei verschiedenen Theilen des Protoplasmas die Fähigkeit zukommt Vacuolen zu bilden? Ich werde nun in diesem Kapitel zeigen, dass da, wo man früher ein Entstehen neuer Vacuolen aus Cytoplasma annahm, zwei Fälle sich ereignen können. Erstens kann ein Anschwellen schon vorhandener, aber bis dahin unsichtbarer Vacuolen stattfinden, eine Erscheinung die natürlich gar nichts gegen die Vermehrung normaler Vacuolen durch Theilung beweist, und zweitens können sich pathologische Vacuolen bilden, blasige Bildungen, welche bei der Desorganisation von Kernen und Chromatophoren entstehen, überhaupt aber gar nichts mit normalen Vacuolen zu thun haben.

Nägeli[1]) war wohl der erste, welcher das Uebertreten des Inhaltes verschiedener Zellen in Wasser beschrieben hat. Er benutzte dazu Internodialzellen von Chara und die gefärbten Zellsaft enthaltenden Zellen verschiedener Früchte; dasselbe that er auch bei Pollenmutterzellen, jungen Pollenkörnern und Embryosäcken[2]). Er beobachtete, dass Vacuolen auftraten und sich darauf vergrösserten; die letztere Erscheinung fand aber nicht statt, wenn er anstatt Wasser eine genügend starke Zuckerlösung benutzte. Nägeli glaubt,

1) Nägeli und Cramer, Pflanzenphysiologische Untersuchungen, 1855, I, p. 9.

2) Nägeli, l. c. I, p. 24.

dass in den meisten Fällen die Vacuolen schon in der Zelle, deren Inhalt in Wasser gebracht wurden, anwesend waren. Von Zeit zu Zeit spricht er aber von einer Neubildung von Vacuolen an Stellen, wo dieselben früher nicht zu finden waren. Später hat Nägeli[1]) diese Meinung noch einmal vertheidigt, sich dabei stützend auf die von ihm zuerst aufgeworfene Hypothese der Entstehung einer Niederschlagsmembran; dabei vergleicht er jetzt auch das Auftreten der Vacuolen in Protoplasma mit der Quellung von Chlorophyllkörner und Kerne in Wasser.

Hofmeister[2]) war eigentlich Ursache, dass die Meinung so allgemein Eingang gefunden hat, nach welcher normale Vacuolen entstehen würden, wenn Protoplasma in Wasser gebracht wird. Hofmeister erwähnt nämlich, dass er die Bildung neuer Vacuolen in vielen Fällen gesehen habe u. A. bei Verwundung der befruchteten Embryosäcke der Leguminosen. Die Neubildung von Vacuolen in Zellen meint er beobachtet zu haben an Sporenmutterzellen von Phascum, Pottia und Encalypta, an Spermatozoïden von Characeae, Pellia, Farne und Equisetum. Die Grössenzunahme und das nachherige Platzen bereits vorhandener Vacuolen in Folge von Wasseraufnahme findet statt bei allen in reines Wasser gebrachten Meristemzellen, mit Ausnahme derjenigen, welche bestimmt sind, in Wasser zu leben. Bei den letztgenannten (z. B. Schwärmsporen von Algen und Pilze) muss erst die Organisation des Wandplasmas vernichtet werden; Hofmeister gelang dieses durch folgende Mittel: langsames Eintrocknen, leichte Verwundung, plötzlich bis auf 50° gesteigerte Temperatur, oder durch Entziehung von Sauerstoff. Die Neubildung von Vacuolen beim Austreten des Zellinhaltes in Wasser meinte Hofmeister[3]) übrigens noch zu sehen bei Vaucheria, Cladophora, Hydrodictyon, Chara, Wurzelhaare von Hydrocharis und Zellen aus saftigen Früchten.

Sachs hat viel dazu beigetragen, die Meinung Hofmeisters in die Wissenschaft einzubürgern. Er gab eine Abbildung von dem Austreten des Zellinhaltes von Vaucheria in Wasser[4]) und erklärte

---

1) Nägeli und Schwendener, Das Mikroskop, p. 549.
2) Hofmeister, Pflanzenzelle, p. 6.
3) Hofmeister, l. c. p. 73.
4) Sachs, Lehrbuch der Botanik, 4. Aufl., p. 42, Fig. 40.

diese derart, als wenn Neubildung von Vacuolen dabei stattfinden würde.

Der 2. Theil von Pfeffer's osmotischen Untersuchungen[1]) basirt sich theilweise auf dieselben Erscheinungen. Er erwähnt hier die Beobachtung, dass in Zuckerlösung wohl Vacuolen sichtbar sind, diese sich aber nicht vergrössern, wogegen die letztere Erscheinung wohl in Wasser zu sehen ist. Später hat er aber seine Meinung dahin geändert[2]), dass überhaupt keine Vacuolen auftreten, wenn man den Zellinhalt anstatt in Wasser, in eine genügend starke ClNa- oder Zuckerlösung bringt. Pfeffer benutzte jetzt zu seinen Experimenten hauptsächlich Wurzelhaare von Hydrocharis Morsus Ranae; er giebt auch eine Abbildung der Erscheinung, wie sie bei dieser Pflanze stattfindet[3]); meiner Meinung nach ist daraus gar nicht zu schliessen auf eine Neubildung von Vacuolen. Die Beobachtungen standen im Zusammenhang mit seiner Meinung über die Bildung einer Niederschlagsmembran; wörtlich sagt er das Folgende: „Die Bildung von Vacuolen, welche vielfach an Protoplasmakörpern stattfindet, wenn sie aus verletzten Zellen in Wasser übertreten (z. B. bei Vaucheria, Nitella, Wurzelhaaren von Hydrocharis), ist übrigens selbst ein Beispiel begrenzter Imbibitionsfähigkeit des Protoplasmas. Denn die Vacuolen entstehen, indem wässerige Flüssigkeit innerhalb des Protoplasmas sich absondert, und solches ist nur möglich, weil das Protoplasma sich nicht wie ein löslicher Körper, mit beliebig viel Wasser mengt. Gemäss seinen Eigenschaften wird die in seinem Innern ausgeschiedene Flüssigkeit ebenso gut, wie gegen einen gewaltsam in das Plasmodium von Aethalium eingeführten Wassertropfen, durch Plasmamembran sofort abgegrenzt. Sind in der ausgeschiedenen Vacuolenflüssigkeit Stoffe gelöst, so bringt deren osmotische Wirkung einen hydrostatischen Druck zuwege, welcher, wenn genügend, eine Ausdehnung der umhüllenden Plasmaschicht und eventuell deren Zerreissung und Desorganisation herbeiführt. Diese Bildung und Vergrösserung und die damit zusammenhängende Zerstörung der Structur unterbleibt aber, wenn statt des reinen Wassers eine genügend concentrirte Lösung von Kochsalz, Zucker

1) Pfeffer, Osmotische Untersuchungen, 1877, p. 127.
2) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, 1884, p. 35.
3) Pfeffer, l. c. Fig. 4.

oder anderen Stoffen genommen wird und damit ist die Richtigkeit obiger Erklärung der Vacuolenbildung erwiesen."

Noch in einer seiner jüngsten Abhandlungen[1]) hat Pfeffer diese vermuthliche Neubildung von Vacuolen als ein Argument gegen die Hypothese von de Vries über die Vermehrung der Vacuolen durch Theilung benutzt.

Strasburger, welcher 1876 noch derselben Meinung über die Entstehung der Vacuolen in Wasser war[2]), war der erste welcher die Vorgänge bei Vaucheria genau geschildert hat[3]). Er beobachtete, dass, wenn man einen Vaucheriafaden in Wasser bringt und darauf durchschneidet, sich fortwährend Theile von der grossen Vacuole abschnüren und von Protoplasma und Chlorophyllkörnern umgeben in Freiheit gelangen; er sah, dass sie darauf sich vergrösserten und endlich platzten. Eine Neubildung von Vacuolen wird nicht erwähnt.

In neuester Zeit hat auch Berthold die sogenannte Neubildung von Vacuolen aus Protoplasma gegen die de Vries'sche Hypothese angeführt[4]), während die ganze Erscheinung ausführlicher von Frank Schwarz besprochen worden ist[5]). Dieser lässt Wasser einwirken auf das Protoplasma von Meristemzellen verschiedenen Alters; das eine Mal sieht er da Vacuolen auftreten, das andere Mal nicht. Es handelt sich hier in den meisten Fällen wohl nur um ein Aufschwellen schon vorhandener Vacuolen, die vorher durch die körnige Beschaffenheit des Protoplasmas nicht gut sichtbar waren; es hängt dann natürlich nur davon ab, ob das Wasser schnell oder langsam einwirkt, ob die Vacuolen schon platzen bevor sie sichtbar werden, oder ob das Umgekehrte der Fall ist. Oft hat er auch wohl nur ein Blasigwerden allerlei körniger Bildungen im Protoplasma gesehen, und beziehen sich also seine Beobachtungen auf pathologische Vacuolen. Ueberhaupt wird man aus der ganzen Beschreibung von Frank Schwarz nie klar darüber, ob er spricht über schon vor-

1) Pfeffer, Ueber Aufnahme von Anilinfarben in lebende Zellen. Untersuchungen aus dem Bot. Inst. zu Tübingen, 1876, Bd. II, p. 322.

2) Strasburger, Studien über das Protoplasma, p. 415, 416.

3) Strasburger, Botanisches Praktikum, 1884, p. 45, 46.

4) Berthold, Studien über Protoplasmamechanik, 1886, p. 155.

5) Frank Schwarz, Die chemische und morphologische Zusammensetzung des Protoplasmas. Beitr. z. Biol. der Pflanzen, Bd. V, Heft I, 1887, p. 136, 138, 154—168.

handene oder neu entstehende Vacuolen. Alle diese pathologischen Thatsachen werden nun ohne weitere Untersuchung auf die normale Bildungsweise der Vacuolen übertragen und diese nach der Art Berthold's erklärt als „ein Entmischungsvorgang, bei welchem sich vorher homogen gemengte Substanzen derartig scheiden, dass die löslicheren sich in Tropfenform in den unlöslichen ansammeln". Weiter giebt Frank Schwarz noch sehr ausgedehnte Beobachtungen über die Einwirkung von Wasser auf Chlorophyllkörner und Kerne [1]) und das Auftreten von pathologischen Vacuolen dabei. Da diese pathologischen Wirkungen nicht den mindesten Zusammenhang haben mit der normalen Vacuolenbildung, wie ich nachher noch näher darthun werde, so können wir dieselben hier übergehen.

Nach dieser historischen Uebersicht möchte ich meine eigenen Beobachtungen mittheilen; ich werde dabei zuerst behandeln das Austreten des Protoplasmas aus Zellen, welche mehrere Vacuolen enthalten, darauf aus solchen, welche nur eine einzige Vacuole besitzen, und endlich daran einige Bemerkungen über das Quellen von Kernen und Chromatophoren in Wasser hinzufügen.

§ 2. Austreten von Protoplasma aus mehrere Vacuolen enthaltenden Zellen.

Wenn man einen Fruchtträger von Pilobolus cristallinus in einer 5 procentigen Zuckerlösung unter dem Mikroskop betrachtet, wird man ihn ganz gefüllt sehen mit einem sogenannten schaumartigen Protoplasma, also einem Protoplasma, das eine grosse Menge Vacuolen enthält. Zwischen diesen Vacuolen findet Protoplasmaströmung statt, welche gleich nach der Präparation wohl gestört ist, einige Zeit nachher aber wieder auftritt. Die Grösse dieser Vacuolen ist sehr verschieden, ihr Durchmesser wechselt zwischen 10 und 150 μ. Ihre Anzahl ist ungeheuer gross, bei einer oberflächlichen Zählung schien mir der aufgeblasene Theil eines jungen Fruchtträgers deren nicht weniger als 150—200 zu enthalten. Wenn man jetzt einen leisen Druck auf das Deckglas ausübt, so platzt der Fruchtträger und der Inhalt tritt langsam aus der Zelle heraus. In einer $2^1/_2$—5 prozentigen eosinhaltigen Zuckerlösung stirbt das Pro-

1) Frank Schwarz, l. c. p. 43 und 87.

toplasma bald ab, was ersichtlich ist aus der rothen Farbe, die es annimmt. Die Vacuolen dagegen bleiben farblos und behalten dabei ihre Grösse, wenn sie auch so viel wie möglich Kugelgestalt annehmen. Wenn man jetzt die Zuckerlösung durch Wasser ersetzt, vergrössern sich die Vacuolen sehr stark und befreien sich daher sehr oft von dem umliegenden todten Protoplasma. Wenn ihr Umfang einige Zeit zugenommen hat, sieht man sie auf einmal platzen, wobei die Vacuolenwand zusammenschrumpft; eine Neubildung von Vacuolen ist nie zu entdecken.

In den Zellen von Mucor racemosus liegen meistens eine Anzahl Vacuolen, welche oft durch ihre starke Lichtbrechung sehr deutlich sichtbar sind. Wenn man diese Zellen in Zuckerlösung durchschneidet, tritt der ganze Inhalt langsam in die umliegende Flüssigkeit über, wobei sich die Vacuolen abrunden. Wenn man jetzt eosinhaltiges Wasser zusetzt, stirbt das Protoplasma bald, die Vacuolen vergrössern sich stark und platzen nach einiger Zeit. Neubildung von Vacuolen findet nicht statt.

Der Embryosack von Draba verna enthält eine grosse Menge Protoplasmas; dazwischen liegen viele Vacuolen. Wenn man den geöffneten Keimsack in 5prozentiger Zuckerlösung unter das Mikroskop gebracht hat und darauf einen leisen Druck auf das Deckglas ausübt, so tritt der ganze Inhalt in die umgebende Flüssigkeit hinaus, ohne eine Veränderung zu erleiden. Wenn man aber jetzt die Zuckerlösung durch Wasser ersetzt, verändert sich das Bild; allmählig vergrössern sich die Vacuolen, die aussen am Rande des ganzen Protoplasten liegen, und machen sich in dieser Art ganz frei von dem umliegenden Protoplasma. Hat man vorher etwas Eosin in dem Wasser gelöst, dann ergiebt die Rothfärbung, dass die äusseren Theile des Protoplasten gestorben sind, während die Vacuolen als farblose Kugeln in der rothen Lösung umhertreiben und einige Zeit nachher platzen. Inzwischen dringt das Wasser fortwährend mehr nach innen ein; immer mehr vergrössern sich andere Vacuolen und stirbt mehr Protoplasma, bis endlich alles Protoplasma todt ist und auch der letzte Tonoplast geplatzt; ein Auftreten neuer Vacuolen findet nie statt. Die ganze Erscheinung geht äusserst langsam vor sich und kann selbst einige Stunden dauern.

Junge Pollenkörner von Tulipa, Glycine sinensis, Cucurbita Pepo

und Polygonatum vulgare enthalten meistens mehrere Vacuolen, wie aus den vorigen Kapiteln schon hervorgeht. Wenn man sie in einer 5prozentigen Zuckerlösung unter dem Deckglas durch Druck zerquetscht, platzen meistens auch die Vacuolen; bisweilen aber findet man ein geplatztes Pollenkorn, woraus allmählich der Inhalt in die umgebende Flüssigkeit übertritt. Dabei sieht man das Protoplasma ganz zerfallen, während die Vacuolen, wenn sie auch die Kugestalt annehmen, ihre ursprüngliche Grösse behalten, indem sie frei in der Zuckerlösung umhertreiben. Es gelang mir nicht, die Flüssigkeit unter dem Deckglase durch Wasser zu ersetzen, ohne die Vacuolen aus dem Auge zu verlieren, daher musste ich die Pollenkörner direct in Wasser zerquetschen. Dabei verhält sich das Protoplasma ganz so wie in der Zuckerlösung; die Vacuolen dagegen vergrössern sich sehr stark, bis der Tonoplast platzt.

Junge Zoosporangien von Achlya enthalten eine grosse Menge Protoplasma mit dazwischen liegenden Vacuolen. Es gelingt hier sehr leicht, den Inhalt in Wasser heraustreten zu lassen; alsdann stirbt das Protoplasma, während die Vacuolen anschwellen und einige Zeit nachher platzen. Auch hier bilden sich keine neuen Vacuolen.

Eine ähnliche Erscheinung kann man sehr hübsch bei Nitella flexilis und in geringerem Maasse bei Chara beobachten. Wenn man nämlich eine angeschnittene Internodialzelle in Wasser bringt, dann sieht man das Cytoplasma in grossen Quantitäten zusammen mit den Chlorophyllkörnern heraustreten. Zu gleicher Zeit kommen eine grosse Anzahl sehr kleiner Vacuolen aus der Zelle hervor, welche sich vergrössern und nach kurzer Zeit platzen; sie besitzen eine eigene Wand, die am Leben erhalten bleibt, nachdem das Cytoplasma schon gestorben ist. Woher stammen diese Vacuolen? Man sieht sehr deutlich, dass sie aus der Zelle herauskommen, und also nicht durch eine Wasserwirkung auf das Cytoplasma entstanden sind, wie das nach der Meinung Hofmeister's und Pfeffer's der Fall sein müsste. Leider enthalten die Zellen bei Nitella eine sehr grosse Menge Protoplasmas; dieses häuft sich bei dem Heraustreten noch stärker an, sodass nicht mit vollkommener Sicherheit constatirt werden kann, wo sich die Vacuolen in der Zelle befinden. Wie gesagt, vergrössern sie sich im Wasser, jedoch nicht sehr stark; in der

Zelle selbst können sie also auch nicht sehr gross gewesen sein; deutlich ergiebt sich das noch aus ihrem Verhalten in einer 5prozentigen Zuckerlösung, worin ihre Grösse constant bleibt; man sieht alsdann, dass sie einen gleichen Durchmesser besitzen wie die Kugeln, welche vom strömenden Protoplasma mitgeführt werden.

Es ist also wahrscheinlich, dass eine Anzahl dieser bis jetzt so geheimnissvollen Körper nichts anderes als kleine Vacuolen sind, welche mit der grossen zentralen verschmolzen sind. Wir wissen ja, dass in den jüngsten Zellen der Nitella sehr viele Vacuolen zu finden sind; die meisten werden nun wahrscheinlich später, nach mehrmaliger Theilung, vom strömenden Protoplasma mitgeführt. Die Erscheinung, welche Nitella uns darbietet, lässt sich also erklären in Uebereinstimmung mit der Hypothese Nägeli's und Pfeffer's[1]), wonach das Körnerprotoplasma sein Aeusseres hauptsächlich winzigen Vacuolen, welche von der Protoplasmaströmung mitgeführt werden, verdankt.

§ 3. Austreten von Protoplasma aus Zellen, welche eine einzige Vacuole enthalten.

Das Uebertreten einer einzigen Vacuole in Wasser beobachtete ich zuerst bei den Zellen der Epidermishaare mit rothem Zellsaft bei Coleus und mit violettem Zellsaft bei Gynura aurantiaca; in beiden Fällen kann man, wenn eine Zelle in Wasser angeschnitten worden ist, sehen, wie die Vacuole heraustritt und sich dabei in verschiedene kleinere spaltet, welche nach einiger Zeit platzen. Es giebt aber ein anderes Object, wo sich dieselben Erscheinungen mit grosser Klarheit abspielen, darum möchte ich es hier etwas eingehender betrachten. Es sind nämlich die Epidermiszellen der Blattunterseite von Passiflora trifasciata. Diese haben die Gestalt eines ziemlich langgedehnten Rechtecks, während die Vacuole einen dunkelrothen oder rothvioletten Zellsaft enthält. Wenn man diese Epidermis in eine 10prozentige Zuckerlösung legt, findet nur eine sehr geringe Plasmolyse statt; diese wird aber sehr stark, sowie man diese Flüssigkeit durch eine 6prozentige Salpeterlösung ersetzt; dabei spaltet sich die Vacuole in eine Anzahl kleinerer. Wenn man

1) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, I, p. 32.

jetzt mit einem scharfen Rasirmesser das Präparat senkrecht auf den Längsdurchmesser der Zellen durchschneidet, wird man in einigen geöffneten Zellen noch den plasmolysirten Inhalt liegen sehen. Wäscht man jetzt mit Wasser aus, dann kommen auf einmal die Vacuolen aus der Zelle heraus, vergrössern sich sehr stark und platzen plötzlich. Etwas anders wird die Erscheinung, wenn man die Zellen schon in einer 10prozentigen Zuckerlösung durchschneidet. Einen solchen Fall habe ich auf Taf. VIII Fig. 16a—e gezeichnet. In Fig. 16a liegt die Zelle in einer 10prozentigen Zuckerlösung, man sieht die rothgefärbte Vacuole, an beiden Seiten von einem Saum farblosen Protoplasmas umgeben. Jetzt sah ich die Vacuole sich allmählig nach der Oeffnung hin bewegen und endlich theilweise daraus hervortreten; der ausserhalb der Zelle liegende Theil nahm die Gestalt einer Kugel an und schnürte sich endlich von der ursprünglichen Vacuole ab. Diese in Freiheit gekommene Kugel (ζ) war ausserdem noch von Protoplasma, welches an der einen Seite als ein hyaliner Saum sichtbar war, umgeben. Die grosse Vacuole war inzwischen weiter aus der Zelle herausgerückt und hatte noch einmal eine Vacuole mit etwas Protoplasma (ε) abgeschnürt. Die weitere Inhaltsmasse, vom Protoplasma umgeben, blieb zusammen; die Vacuole theilte sich aber noch einige Male in 4 andere (α, β, γ, δ); so entstand in ungefähr 5 Minuten das in Fig. 16b gezeichnete Bild, worauf der Zustand stabil blieb. Eine Veränderung trat erst ein, als die Zuckerlösung durch Wasser ersetzt wurde; beim Durchsaugen von Wasser unter dem Deckglas verschwand aber leider ζ aus dem Gesichtsfelde; die anderen Vacuolen dagegen vergrösserten sich, indem sie sich soviel wie nur möglich abrundeten. Wie man aus Fig. 16c ersieht, wurde die Farbe von ε fortwährend weniger intensiv, der Tonoplast war also am Absterben, nachdem vorher, wie aus der Zeichnung ersichtlich ist, auch das Cytoplasma gestorben war. Als die Vacuole ε endlich ganz ihre Farbe verloren hatte, platzte sie plötzlich. Die vier noch übrig gebliebenen Vacuolen vergrösserten sich so stark, dass drei derselben β, γ, δ ganz ausserhalb des Protoplasmas zu liegen kamen; γ und δ platzten darauf, während sie noch ziemlich dunkel gefärbt erschienen, während β sich ebenso wie α stark vergrösserte. Das Protoplasma, welches α umgab, starb sehr bald, während α und β schon ziemlich entfärbt waren (Fig. 16d).

Kurze Zeit nach dem Zeichnen von Fig. 16d platzte β; die Vacuole α vergrösserte sich noch fortwährend (Fig. 16e); als diese endlich ganz entfärbt war, platzte sie auch. Es wird Jedem klar sein, dass hier keine Rede ist von einer Neubildung von Vacuolen, hauptsächlich, weil man immer noch die ursprüngliche rothe Farbe sehen kann. Darum sind Versuche mit farbigen Zellen so gut, um sich einen Einblick in diese Erscheinungen zu verschaffen, und daraus einen Schluss zu ziehen auf dasjenige, was bei farblosen Zellen vorkommt; von diesen letzteren werde ich jetzt ausführlich die Erscheinungen bei Vaucheria besprechen.

Wenn man einen Vaucheriafaden plasmolysirt, so bemerkt man, dass die Zelle eine grosse Vacuole enthält, welche sich dann meistens in mehrere kleinere spaltet. Plasmolysirt man mit einer eosinhaltigen 10prozentigen Salpeterlösung, dann stirbt das ganze Cytoplasma mit den Chlorophyllkörnern, während der Tonoplast am Leben erhalten bleibt, sodass man innerhalb der Zelle eine Anzahl farbloser Kugeln in der rothen Lösung beobachtet. Um zu erklären, was stattfindet, wenn man den Inhalt einer Vaucheriazelle in Wasser übertreten lässt, werde ich einen speciellen Fall, den ich in Fig. 20a—f auf Taf. IX abgebildet habe, genau beschreiben. Ein Vaucheriafaden war in eine 30prozentige Zuckerlösung gebracht worden, und darauf durchgeschnitten; die Vacuole wurde theilweise nach aussen getrieben und rundete sich ausserhalb der Zelle so viel wie möglich ab. Dieses Stück blieb aber in Communication mit demjenigen in der Zelle, das sich vom grossen Protoplasten abgeschnürt hatte (Fig. 20a). Sowie ich jetzt die 30prozentige Zuckerlösung durch eine 15prozentige ersetzte, trat eine Veränderung ein (Fig. 20b). Das Stück ausserhalb der Zelle wurde grösser und schnürte sich ab zu einer Vacuole α, umgeben vom Protoplasma; den weiteren Theil bildete ebenso eine Vacuole β, während noch 5 kleinere Vacuolen abgeschnürt wurden. α hatte in 15prozentiger Zuckerlösung einen Durchmesser von 49 μ, β von 35 μ und die kleineren Vacuolen von 5—10 μ. Jetzt wurde die 15prozentige Zuckerlösung durch Wasser, dem ein wenig Eosin zugesetzt worden, ersetzt. Zwei kleine Vacuolen verschwanden aus dem Gesichtsfelde, die drei übrigen vergrösserten sich stark und platzten bald; α hatte jetzt einen Durchmesser von 67 μ, β von 42 μ (Fig. 20c). Wir wollen jetzt zuerst das Schicksal von

α weiter verfolgen; im vorigen Zustande war diese Vacuole ganz von Protoplasma und Chlorophyllkörnern umschlossen, sodass nur an zwei Stellen die farblose Blase, welche sich darin befand, sichtbar war. Jetzt aber schob die Vacuolenwand fortwährend mehr aus den Chlorophyllkörnern hervor, sodass die rechte Seite theilweise frei geworden war. Das Protoplasma umgab jetzt die Vacuole derart, dass sie sich nicht kugelförmig ausdehnen konnte. Die Folge davon war, dass sich allmählig eine Ausstülpung bildte, die fortwährend grösser wurde und vollkommen durchscheinend war, bis auf eine Reihe Chlorophyllkörner, welche dagegen lag (Fig. 20d, von β ist nur ein Umriss gezeichnet worden). Nach einiger Zeit schnürte sich diese Ausstülpung ganz von α ab und bildete so eine neue Vacuole γ; der Durchmesser von α war jetzt 73 μ, von γ 60 μ. Die Vacuole γ nahm jetzt fortwährend an Grösse zu und platzte, als sie ungefähr einen Durchmesser von 140 μ erreicht hatte. Etwas anders verhielt sich α; zuerst vergrösserte diese sich auch, aber als sie einen Durchmesser von 120 μ bekommen hatte, wurde sie allmählig permeabel für das Eosin und starb ganz gleichzeitig mit dem umliegenden Protoplasma, ohne zusammenzuschrumpfen; Protoplasma und Chlorophyllkörner verhinderten sie wahrscheinlich daran. Die Vacuole β, welche in 15prozentiger Zuckerlösung noch ganz von Chlorophyllkörpern umgeben war (Fig. 20b), zeigte in Wasser erst einen farblosen Saum (Fig. 20c), welcher sich allmählig vergrösserte, indem die Vacuole aus dem Protoplasma hervorkroch (Fig. 20e, eigentlich sollte diese Vacuole in der Fig. 20d neben α liegen); sie hatte jetzt einen Durchmesser von 60 μ erreicht. Jetzt bildete sich auch hier eine Ausstülpung, die sich zuletzt als selbstständige Vacuole δ abschnürte, als sie einen Durchmesser von 58 μ erreicht hatte. Jetzt bildete sich durch Abschnürung von β eine kleine Vacuole ε und von δ eine kleine Vacuole ζ (Fig. 20f). ε und ζ platzten sehr bald, kurz nachher auch δ. Zu gleicher Zeit tingirten sich das Protoplasma und die Chlorophyllkörner um β herum braunroth mit dem Eosin, aber die Vacuole β blieb noch ungefähr eine Stunde am Leben, platzte darauf, aber schrumpfte nicht zusammen, wahrscheinlich weil sie daran vom umgebenden todten Protoplasma verhindert wurde. Wenn man sich jetzt die Sachs'sche Abbildung noch einmal genau betrachtet, wird man bemerken, dass auch dort die Er-

scheinung ganz so wie die hier beschriebene von statten ging: Vacuolen zuerst dem Auge entzogen durch umringende Chlorophyll- und Protoplasmamassen vergrössern sich in Wasser allmählig und werden derart sichtbar; Neubildung von Vacuolen findet nicht statt.

Zu dieser Abtheilung gehören auch die Wurzelhaare von Hydrocharis Morsus Ranae; obwohl ich diese selbst nicht untersucht habe, so glaube ich nach Analogie mit den anderen Fällen hier doch denselben Schluss ziehen zu müssen, dass nämlich auch hier die Vacuolen, welche sichtbar werden, von der grossen Vacuole des Wurzelhaares abstammen. Eine Vergleichung der Abbildung Pfeffer's[1]) mit meiner Fig. 16a—e, Taf. VIII, wird die Aehnlichkeit dieser Erscheinung mit derjenigen bei Passiflora trifasciata noch besser demonstriren.

§ 4. Quellung von Kernen und Chromatophoren.

Der einzige Fall, wo Vacuolen entstehen an Stellen, wo diese früher nicht zu finden waren, findet statt, wenn man Kerne oder Chromatophoren sich in Wasser desorganisiren lässt. Der Erste, welcher diese Erscheinung als ebenbürtig neben der bei Verwundung von Vaucheriafäden auftretenden stellte, war Hofmeister[2]); dasselbe geschah nachher auch von Nägeli und Schwendener[3]); diese Letzteren gaben dabei auch sehr richtige Abbildungen von der Quellung der Chlorophyllkörner in Wasser. Schimper wies schon in seiner ersten Abhandlung über die Stärkebildner[4]) auf die Unbeständigkeit dieser Organe; wenn eine Zelle angeschnitten ist, quellen sie gleich, sowie sie mit Wasser in Berührung kommen. Später[5]) gab er einige Abbildungen, welche auf eine Aehnlichkeit mit den normalen Fällen hinzudeuten scheinen. Die Beobachtungen von Frank Schwarz über diesen Gegenstand, sowie über die Quellung der Kerne habe ich früher schon berührt.

Ich glaube, dass man nicht berechtigt ist, aus diesen Erschei-

---

1) Pfeffer, Pflanzenphysiologie, I, Fig. 4.
2) Hofmeister, die Pflanzenzelle, p. 369.
3) Nägeli und Schwendener, das Mikroskop, S. 550.
4) Schimper, Bot. Ztg. 1880, No. 52.
5) Schimper, Bot. Ztg. 1883, Taf. I, Fig. 18, 19, 27 und 56.

nungen auch nur den geringsten Schluss auf die Entstehung der normalen Vacuolen zu ziehen. Wir haben hier eben Desorganisationsfälle, welche in den normalen lebenden Zellen nie vorkommen und welche sich leicht erklären lassen. Die Bildungen, welche dabei auftreten, gleichen äusserlich wohl sehr den normalen Vacuolen, haben aber doch ganz andere Eigenschaften wie diese.

Was zunächst die Erklärung dieser Erscheinungen betrifft, so müssen wir bedenken, dass alle Organe des Protoplasten Wasser anziehen müssen mit annähernd derselben Kraft, womit der Zellsaft dieses thut; wäre das nicht der Fall, dann würde der Zellsaft ihr gebundenes Wasser zu sich ziehen, bis wieder ein Gleichgewichtszustand eingetreten wäre. Die hier speziell gemeinten Organe sind ausserdem von einer Wand umgeben, oder vielleicht wäre es besser zu sagen, dass ihre äusseren Schichten eine etwas festere Consistenz haben wie ihre inneren. In seinen vorher genannten Abhandlungen hat Schimper, was die Leukoplasten betrifft, dieses verschiedene Male betont. Von den Kernen ist genügend bekannt, dass sie eine hyaline Wand besitzen, und dass diese Kernwandung dichter ist wie das Innere der Kerne. Denken wir uns jetzt, dass solche Organe dem Einfluss ihrer Umgebung entzogen, in Stand gesetzt werden, Wasser aufzunehmen, dann müssen sie natürlich bis zu einem gewissen Volumen anschwellen. Weil sie nicht sehr viele wasseranziehende Stoffe enthalten, werden sie dabei natürlich nicht sehr gross.

Die entstandenen Blasen haben aber auch ganz andere Eigenschaften wie die normalen Vacuolen; bei Erwärmung schrumpfen sie zusammen und auch plasmolysirenden Lösungen gegenüber verhalten sie sich anders. Ich will das durch ein Beispiel näher erläutern, weil es ein lehrreicher Fall ist für die Unterscheidung zwischen normalen und pathologischen Vacuolen. Bei Tradescantia undata ist einer der Staubfäden mit Haaren versehen; die Farbe dieser Haare ist an der Basis violet und oben gelb. Bei der mikroskopischen Untersuchung zeigt es sich, dass die unteren Zellen eine violette Vacuole enthalten, während man rund herum einige vacuolenähnliche Kugeln liegen sieht, welche, in Wasser gebracht, sich vergrössern und platzen, wobei man den Inhalt heraustreten sieht. Beim ersten Blick scheint es, als wenn die oberen Zellen nichts

anderes als solche gelbe Kugeln enthalten; durch Plasmolyse überzeugt man sich aber, dass in den Zellen an der Spitze eine farblose Vacuole vorkommt, welche ganz umgeben ist von solchen gelben Kugeln. Zwischen den unteren und oberen Zellen finden sich alle möglichen Uebergänge. Indessen sind die gelben Kugeln bei der Plasmolyse unter Bildung von Falten zusammengeschrumpft; diese Eigenschaft würde schon genügen, um zu wissen, dass man hier keine normalen Vacuolen vor Augen hat. Die Entwickelungsgeschichte klärt denn auch die ganze Erscheinung auf: In sehr jungem Zustande sieht man in den Zellen eine Anzahl Leukoplasten, welche in etwas späteren Stadien sich in gelbe Chromoplasten metamorphosirt haben; wenn die Blume sich öffnet, werden diese desorganisirt zu zu gelben Blasen. Das dauert aber nicht sehr lange, denn einen halben Tag nachher sind sie schon zusammengeschrumpft, während die wirklichen Vacuolen noch am Leben erhalten sind. Das Ganze ist also nichts wie eine pathologische Erscheinung.

Diese Beobachtungen genügen schon, um den grossen Unterschied zwischen normalen und pathologischen Vacuolen hervortreten zu lassen. Die früheren irrigen Anschauungen über die Bildung der normalen Vacuolen sind hauptsächlich entstanden, indem man diese beiden Gruppen von Vacuolen nicht auseinander gehalten hat. Es wäre vielleicht besser, den Namen Vacuole für die eine Art ganz wegfallen zu lassen; dazu hat sich das Wort aber schon zu sehr in der Wissenschaft eingebürgert; die Adjectiva normal und pathologisch genügen vollkommen zur Unterscheidung. Die normalen Vacuolen vermehren sich also ausschliesslich durch Theilung; die pathologischen bilden sich bei der Desorganisation von verschiedenen Organen des Protoplasmas.

Fassen wir die Resultate dieses Kapitels in kurzen Worten zusammen, so ergiebt sich Folgendes:

1. **Normale Vacuolen können nicht aus Protoplasma entstehen** (wo man das bis jetzt zu sehen glaubte, hatte man nur ein Anschwellen schon vorhandener Vacuolen vor sich).

2. Das Quellen von Kernen und Chromatophoren ist eine pathologische Erscheinung, die in keiner Beziehung steht zu dem Auftreten normaler Vacuolen.

IV. Schluss.

§ 1. Zusammenfassung einiger Resultate.

1. Alle Meristemzellen, sowohl Initialzellen des Stengels oder der Wurzel als Scheitelzellen enthalten Vacuolen, ebenso wie auch die jüngsten Zellen der Algen und Pilze, und wie die Embryosäcke, Eizellen und Pollenkörner. Es genügt meistens diese Zellen in 5prozentiger Zuckerlösung zu untersuchen; wenn dann keine Vacuolen gefunden werden, kann man mit einer 10prozentigen Salpeterlösung plasmolysiren, das Protoplasma stirbt und die Vacuolen bleiben am Leben erhalten. Durch nachheriges Erwärmen platzen die Vacuolen. Auch in mit Chromsäure fixirten Präparaten sind die Vacuolen bis in den jüngsten Zellen sichtbar. Bis jetzt glaubte man, dass in den meisten dieser jugendlichen Zellen die Vacuolen ganz fehlten. Weil es mir in vielen Fällen auch gelungen ist, die Vacuolenwand vom umliegenden Protoplasma zu isoliren, können wir alles Behandelte kurz zusammenfassen in folgenden Worten, wenn wir absehen von den zweifelhaften Spermatozoïden, Cyanophyceen und Bacterien:

Alle lebenden Pflanzenzellen enthalten Vacuolen, welche von einer eigenen Wand umgeben sind.

2. In vielen jungen Geweben sah ich, dass Vacuolen sich oft in kleinere spalten; dabei sieht man meistens eine Einstülpung des Protoplasmas in die Vacuole entstehen, welche Einschnürung, indem sie sich vergrössert, allmählig zur Durchschnürung wird und so eine Zweittheilung der Vacuole verursacht. Am leichtesten wird diese Vacuolentheilung bei Pilzfäden beobachtet, aber ausserdem fand ich sie noch bei jungen Pollenkörnern, jungen Haaren, Initialzellen von Wurzel und Stengel u. s. w. Oft sieht man auch neben der Theilung Verschmelzung von Vacuolen stattfinden, weshalb das zweite Resultat dieser Untersuchung in kurzen Worten lautet:

In allen jungen Zellen findet Theilung und Verschmelzung von Vacuolen statt.

3. Aus den beiden vorhergegangenen Resultaten lässt sich augenblicklich das dritte ableiten, wenn man dabei bedenkt, dass nie und nirgends wirklich eine Neubildung von normalen Vacuolen beobachtet worden ist, nämlich dass die Vacuolen sich alle durch Theilung vermehren, dass also die Vacuolen der Tochterzellen aus der Mutterzelle stammen, oder mit anderen Worten:

Alle normalen Vacuolen einer Pflanze stammen durch fortwährende Theilung aus derjenigen der mütterlichen Eizelle.

4. Vergleicht man jetzt also den Tonoplast als die lebende Wand der Vacuolen mit den übrigen Organen des Protoplasmas, welche sich durch Theilung vermehren, also Kern und Chromatophoren, dann bemerkt man eine grosse Uebereinstimmung, also kurz:

Die Tonoplasten sind als Organe des Protoplasmas den Kernen und Chromatophoren ebenbürtig.

5. In jungen Zellen sieht man die Vacuolen ihre Gestalt fortwährend ändern; es muss dort, selbst in den Initialzellen, also fortwährend Protoplasmaströmung stattfinden. Die Protoplasmabewegungen fangen also nicht, wie Hofmeister meinte, erst an, wenn der meristematische Zustand vorbei ist, sondern:

Schon in den allerjüngsten Zellen findet Protoplasmabewegung statt.

6. Die sogenannte Neubildung von Vacuolen, wenn Wasser auf Protoplasma einwirkt, kann durch zwei Erscheinungen verursacht werden, erstens eine Vergrösserung schon vorhandener normaler Vacuolen, die dadurch sichtbar werden, und zweitens das Blasigwerden von Kernen und Chromatophoren, wenn Wasser darauf einwirkt; im ersten Falle entstehen normale Vacuolen, im zweiten „pathologische Vacuolen". Als Resultat also:

Normale Vacuolen entstehen nie aus Protoplasma (pathologische nur in Desorganisationsfällen).

§ 2. Der jetzige Stand der Vacuolenlehre.

Ich möchte hier zuletzt noch eine Zusammenstellung geben unserer jetzigen Kenntnisse der normalen Vacuolen, wie sich diese

nun nach den Untersuchungen von de Vries[1]), Wakker[2]) und mir[3]) gestalten.

Vacuolen sind mit wässeriger Flüssigkeit gefüllte Blasen, welche nur in normalen lebenden Zellen gefunden werden, und dabei ganz bestimmte physiologische Functionen ausüben. Was erstens die Art des Vorkommens betrifft, so findet man Vacuolen in allen lebenden Zellen. In den Initialzellen und den jüngsten Meristemzellen sind sie sehr klein und liegen meistens in grosser Anzahl um den Kern herum. In den älteren Zellen vermindert sich ihre Anzahl fortwährend, indem ihre Grösse zunimmt, eine Folge davon, dass sie anfangen mit einander zu verschmelzen. Zuletzt findet man dann oft in erwachsenen Zellen nur eine einzige Vacuole, sodass die übrigen Organe des Protoplasten in einem Wandbeleg von Cytoplasma liegen. Bisweilen verschmelzen aber nicht alle Vacuolen mit einander, wie das z. B. bei Pilzen und Algen (Cladophora, Chaetomorpha[4]) vorkommt, aber auch bei vielen höheren Pflanzen. Den letzteren Fall werde ich näher besprechen, sowie wir uns mit dem Inhalt der Vacuolen beschäftigen. Während Initialzellen also sehr viele Vacuolen enthalten können, findet man oft nur ein solches Organ in der Scheitelzelle vieler Cryptogamen und in der Eizelle der Phanerogamen. Mit Ausnahme also der nicht näher untersuchten Cyanophyceen, Bacterien und Spermatozoïden enthalten alle lebenden Zellen Vacuolen.

Alle Vacuolen sind von einer lebenden Wand umgeben, welche den Namen Tonoplast führt. In einigen Fällen lässt sich ohne Weiteres die Annahme einer solchen Wand als nothwendig voraussetzen, nämlich bei stark saurem Zellsaft, z. B. bei Rheum und Begonia, wo die Vacuolenflüssigkeit sonst das Protoplasma tödten würde. Letzteres sieht man sehr deutlich bei Begonia, wenn man

1) H. de Vries, Plasmolytische Studien über die Wand der Vacuolen. Pringsh. Jahrb. f. wiss. Bot. Bd. XVI, p. 465. Bot. Ztg. 1886, Sp. 1 und Bot. Ztg. 1884, Sp. 289.

2) J. H. Wakker, Maandblad von Natuurwetenschappen 1887, No. 5 und 6 und dieselbe Zeitschrift 1887, No. 7. Die ausführliche Mittheilung wird in Kurzem in dieser Zeitschrift erscheinen.

3) F. Went, De jongste toestanden der vacuolen. Inaug. Diss. Amsterdam 1886 und Arch. Néerl des sc. exactes et naturelles, T. XXI.

4) Strasburger, Zellbildung und Zellth., 3. Aufl. 1880, p. 71 u. Taf. XIII, Fig. 22. Vgl. auch Janse, die Permeabilität des Protoplasma. Versl. en Meded. der Koninkl. Akad. v. Wet., Amsterdam, Afd. Natuurkunde, 3. Reeks, Deel IV, p. 341.

Schnitte durch den Stengel dieser Pflanze macht und diese nachher in $2^1/_2$—5prozentiger Zuckerlösung legt; alle Zellen sind dann gestorben. Nur wenn man das Messer vor dem Schneiden mit dieser Zuckerlösung gehörig benetzt hat, wird der austretende Zellsaft so weit verdünnt, dass er keine tödtliche Wirkung mehr auf das Protoplasma ausübt.

Der Tonoplast ist weit resistenter gegen den Einfluss verschiedener Reagentien wie das übrige Protoplasma; daher kommt es, dass man ihn sehr leicht isoliren kann. Wenn man eine 10prozentige Salpeterlösung auf eine Zelle einwirken lässt, wird der Inhalt plasmolysirt; dabei stirbt aber das Protoplasma, was ganz besonders schön hervortritt, wenn man der Salpeterlösung etwas Eosin zugefügt hat, weil das todte Protoplasma sich dann schön roth tingirt. Die noch lebende Vacuole hebt sich als farblose Blase sehr deutlich von der umgebenden rothen Flüssigkeit ab. Aller Wahrscheinlichkeit nach fällt dem Tonoplast die Aufgabe zu, gewisse Inhaltsstoffe für die Vacuole zu bereiten, wie ich noch beweisen werde.

Wenden wir uns jetzt dem Inhalt der Vacuolen, dem Zellsafte, zu. Bekanntlich ist es hauptsächlich eine wässerige Lösung verschiedener Stoffe, wiewohl solche oft auch auskristallisirt darin vorkommen können. Die Reaction ist meistens schwach sauer, bisweilen (bei den Aleuronkörnern, blauen Zellen) auch alkalisch. Es war bis vor Kurzem ganz unmöglich zu unterscheiden, ob die Stoffe, welche in der Pflanzenzelle gefunden werden, in der Vacuole oder im Protoplasma vorkommen. Jetzt aber plasmolysirt man die Zellen erst mit 10prozentiger Salpeterlösung, und wenn das Protoplasma gestorben, lässt man das Reagens einwirken; geschieht dies langsam, dann bildet sich der etwaige Niederschag in der Vacuole, sonst platzt diese und der Niederschlag entsteht vor dem Riss; bis jetzt sind diese Untersuchungen nur noch ausgeführt worden für Eiweiss, Gerbstoff und salpetersaure Salze. Die Inhaltsbestandtheile der Vacuole sind erstens anorganische und organische Salze, hauptsächlich des Kaliums und des Calciums, weiter Glycose, Gerbstoff und Eiweiss. Der oxalsaure Kalk kommt in der Vacuole kristallisirt vor, und bildet sich auch im Zellsaft, aber niemals im Cytoplasma. Eiweiss kommt oft in gelöstem Zustande (sei es als gerbsaures Eiweiss oder als Alkalialbuminat) im Zellsafte vor, kann aber auch oft daraus kristallisiren in den bekannten Kristalloïden von Ricinus

und anderen Pflanzen. Das geschieht meistens beim Reifen des Endosperms, woher man dann natürlich im ruhenden Zustande die Kristalloïde von der Vacuolenwand umgeben sieht; diese Vacuolen nannte man früher Aleuronkörner. Bei der Keimung dieser Samen wird das Eiweiss gelöst und treten die Vacuolen wieder klar zum Vorschein. In allen genauer untersuchten Fällen hat sich stets gezeigt, dass der Gerbstoff nur im Zellsaft gefunden wird; die sogenannten Gerbstoffblasen sind wahrscheinlich auch nichts anderes als Vacuolen, wenigstens in den Blattgelenken der Mimosa pudica ist das ganz gewiss der Fall; ich werde vielleicht später nähere Untersuchungen über diesen Punkt anstellen. Viele Vacuolen können auch einen gewissen Farbstoff enthalten, der in sauren Zellen roth, in alkalischen blau ist; in einigen wenigen Fällen findet man auch einen gelben Farbstoff in der Vacuole. Erwähnenswerth ist noch, dass, wie es scheint, dieser Farbstoff immer mit Gerbsäure zusammen vorkommt und in jungen Zuständen zuerst der Gerbstoff auftritt und erst nachher der Farbstoff; vielleicht stehen hiermit im Zusammenhang die Pfeffer'schen Experimente über Aufnahme von Anilinfarben in gerbstoffführenden Zellen.

Wenn in einer Zelle mehrere Vacuolen vorkommen, kann der Fall sich ereignen, dass nicht alle denselben Inhalt besitzen. Das ist am deutlichsten, wo die eine Vacuole farbigen Zellsaft enthält, die andere aber nicht. Bei vielen Blumenblättern findet man nun dergleichen Zellen, wo meistens eine grosse farbige Vacuole anwesend ist, während sich in den Ecken der Zelle einige kleine farblose „adventive Vacuolen“ befinden. Ein paar dergleichen Fälle habe ich auf Tafel VIII abgebildet; Fig. 17 zeigt uns einige Epidermiszellen eines erwachsenen Blumenblattes von Camellia japonica; in der Mitte der Zelle liegt die grosse rothe Vacuole, rund herum die farblosen adventiven. In Fig. 19 sieht man eine Staubfadenzelle von Callistemon lanceolatum mit einigen farblosen adventiven Vacuolen. Bei der mikrochemischen Untersuchung ergab sich nun, dass die farbigen Vacuolen Gerbstoff enthalten, die adventiven dagegen nicht. In den in Fig. 18 abgebildeten Zellen eines jungen, noch farblosen Blumenblattes von Camellia japonica ist denn auch schon ein Unterschied zwischen der grossen gerbstoffführenden und den kleineren gerbstofffreien adventiven Vacuolen zu finden. In noch jüngeren Zuständen

ist kein Unterschied mehr zwischen den verschiedenen Vacuolen, während die Eizelle nur eine einzige Vacuole enthält; weil die Vacuolen sich durch Theilung vermehren, müssen also sowohl die gewöhlichen wie die adventiven von den Vacuolen der mütterlichen Eizelle abstammen. Nachher differenziren sie sich aber; der Zellsaft der einen wird gerbstoffreich, in den andern bleibt er unverändert. Die Ursache dieser Veränderung kann unmöglich in dem Körnerplasma gesucht werden, weil dieses sich fortwährend bewegt und in den jungen Stadien die gerbstofffreien Vacuolen ganz willkürliche Stellungen in der Zelle annehmen gegenüber der gerbstoffführenden. Der Tonoplast muss also die verschiedene Zusammensetzung des Zellsaftes verursachen; das kann natürlich ausgedehnt werden auf alle möglichen Vacuolen. Somit hätten wir den Tonoplast als dasjenige Organ anzusehen, welches die verschiedenen Inhaltsstoffe der Vacuolen bereitet, oder doch wenigstens eine Wahl treffen kann zwischen denjenigen, welche ihm vom Körnerplasma geboten werden. Auch bei vielen anderen Pflanzen ist es mir gelungen, adventive Vacuolen zu finden.

Diese ganze Erscheinung hat sehr viel Aehnlichkeit mit demjenigen, was man bei Chromatophoren beobachtet; die farbigen Vacuolen sind dann den Chromoplasten, die adventiven den Leukoplasten gleich zu stellen.

Die Vacuolen vermehren sich durch Theilung. Eine Neubildung von Vacuolen aus Protoplasma findet nie statt; wo darüber berichtet worden ist, war es entweder nur ein Anschwellen schon vorhandener Vacuolen, oder hatte man pathologische Vacuolen vor sich, entstanden bei der Desorganisation von Kernen und Chromatophoren. Die Theilung der Vacuolen kann an lebenden Zellen mit einiger Geduld beobachtet werden, wenn man nur die Präparate während einiger Zeit in 3—5prozentiger Zuckerlösung untersucht. Am meisten zu empfehlen sind in dieser Hinsicht Pilzfäden; dort können fast jeden Augenblick Vacuolentheilungen und daneben auch Verschmelzungen von Vacuolen beobachtet werden; sehr gutes Material liefern auch Pollenkörner und Epidermishaare; es müssen aber immer junge Zellen zur Untersuchung herbeigezogen werden.

Es gibt ein paar specielle Anpassungen, wo auch in erwachsenen Zellen Vacuolentheilungen beobachtet werden können, nämlich erstens

in den Endospermzellen gewisser Pflanzen theilt sich die grosse Vacuole in eine Anzahl kleinerer, welche nachher Aleuronkörner werden. Bei der Keimung wird das Eiweiss in den Aleuronkörnern wieder gelöst und die kleinen Vacuolen verschmelzen wieder zu einer grossen. Die zweite Anpassung findet man in den Tentakeln von Drosera; wenn diese gereizt werden, sei es durch Nährstoffe oder durch andere Reize, findet in den Zellen Aggregation statt; diese Erscheinung besteht der Hauptsache nach in einer fortwährenden Theilung der grossen Vacuole in viele kleinere, während dabei das Volumen des Zellsaftes auch geringer wird. Hat der Reiz aufgehört zu wirken, dann verschmelzen alle Vacuolen wieder zu einer grossen Zentralen; die Vacuolentheilung verläuft sehr rasch, viel schneller wie in jungen Zellen.

Wir müssen uns jetzt noch einen Augenblick beschäftigen mit den Functionen, welche die Vacuolen in den Pflanzen auszuüben haben. Die Hauptbedeutung haben die Vacuolen gewiss, indem sie durch ihre osmotische Kraft den Turgor der Zelle verursachen, und daher indirect eine wichtige mechanische Ursache des Längenwachsthums sind. Jetzt wo die Appositionstheorie die Intussusceptionslehre beinahe ganz verdrungen hat, und wo also die Dehnbarkeit der Wand eine grosse Rolle beim Wachsthum spielt, ist es einigermaassen Gewohnheit geworden, die Verdienste welche Sachs sich um die Turgorlehre erworben hat, zu verkleinern. Man vergisst dabei ganz, dass es ein grosser Fortschritt war, als Sachs an Stelle der alten Hofmeister'schen Imbibitionstheorie die Ursachen der Zellstreckung in den Inhalt der Zelle verlegte. Jedenfalls bleibt doch auch heute noch der Turgor die nächste Ursache der Ausdehnung der Zellen, wenn auch der Grad der Ausdehnung vielleicht allein abhängig ist von der Dehnbarkeit der Wand. Bis jetzt befand sich aber die neuere Wachsthumstheorie in grosser Schwierigkeit, wenn es galt das Wachsen der jüngsten Zellen zu erklären; man kannte dort keinen Turgor, weil man diese für vacuolenlos hielt. Durch meine Untersuchungen hat sich jetzt gezeigt, dass auch die jüngsten Zellen Vacuolen enthalten, und dadurch sind jetzt wohl die Wachsthumserscheinungen in den jüngsten Zellen aufgeklärt. Wir müssen uns dazu nämlich auf denselben Standpunkt stellen, welchen de Vries schon vor 10 Jahren einnahm. Er hat

seine Meinung damals in folgenden Worten ausgesprochen[1]): (Nachdem er hingewiesen hat auf den gleichsinnigen Verlauf der Curven für die Turgorausdehnung und für die Dehnbarkeit bei schwacher Dehnung.) „Wenn man einen in einer Salzlösung oder durch Welken erschlafften Spross vorsichtig auf seine vorherige Länge ausdehnt, so nehmen dabei die einzelnen Partialzonen ebenfalls annähernd die Länge an, welche sie im frischen Zustand hatten. Nun ist bei der künstlichen Dehnung in unseren Versuchen offenbar die dehnende Kraft in jeder Partialzone dieselbe. Also muss in diesem gedehnten Zustande auch die elastische Spannkraft der Zellhäute in jedem Querschnitte dieselbe sein, da ja diese der dehnenden Kraft das Gleichgewicht hält. Da nun dabei die einzelnen Partialzonen alle annähernd die Länge zeigen, welche sie im frischen Zustand hatten, so liegt die Annahme nahe, dass die elastische Spannkraft in diesem Zustande ebenfalls in allen Zonen annähernd gleich sein wird. Bei kräftiger Turgescenz hält die Turgorkraft dieser elastischen Spannkraft das Gleichgewicht, und es ist also zu vermuthen, dass auch die Turgorkraft im wachsenden Theile eines Sprosses überall annähernd gleich gross sein, wenigstens keine sehr grossen Differenzen zeigen wird.“ Vor 4 Jahren sprach de Vries sich in ähnlicher Weise aus[2]): „So lange die wachsenden Organe nicht völlig mit Wasser gesättigt sind, muss sich dieses über ihre einzelnen Theile derart verbreiten, dass es überall wenigstens mit nahezu derselben Kraft festgehalten wird. Es werden demzufolge die wasseranziehenden Kräfte der einzelnen Querzonen eines wachsenden Organes, und vielleicht selbst die verschiedenen wachsenden Theile einer Pflanze fortwährend das Bestreben haben, etwa vorhandene Differenzen auszugleichen“. Das bezieht sich natürlich auf alle Zellen welche Vacuolen enthalten, und also einen Turgor besitzen; nach meinen Untersuchungen kann das also auch auf die jüngsten Zellen ausgedehnt werden, und der Satz aufgestellt werden, dass der Turgor in allen wachsenden Zellen einer Pflanze annähernd gleich sein muss. Die frühere Annahme von de Vries, dass die Dehnbarkeit der Zellwände in den verschiedenen wachsenden Zonen einer Pflanze

1) de Vries, Mechanische Ursachen der Zellstreckung, 1877, p. 120.

2) de Vries, Turgorkraft. Pringsheim's Jahrb. f. wissensch. Bot. 1884, Bd. XIV, p. 560.

annähernd dieselbe sein muss, kann also jetzt nicht mehr angenommen werden. Wenn der Turgor in allen Zellen eines wachsenden Pflanzentheils annähernd gleich ist, muss der Grad der Zellstreckung von der Dehnbarkeit der Wand bedingt werden. Für einzellige Organe war das ja auch schon längst bekannt, hauptsächlich durch die Untersuchungen von Errera und Laurent; jetzt lässt sich aus meinen Resultaten ableiten, dass auch bei mehrzelligen Organen das Wachsthum in ähnlicher Weise vor sich gehen muss.

Eine zweite Hauptfunction der Vacuolen besteht darin, dass sie dienen, um allerlei verschiedene Stoffe aufzuspeichern. Wir können da verschiedene Fälle unterscheiden, je nach der Art der aufgespeicherten Stoffe. Das können nämlich erstens sein Reservestoffe, wie Rohrzucker, Glycose und Inulin in gelöstem Zustande und Eiweiss als Krystalloïde oder amorph ausgeschieden in Vacuolen, welche dann den Namen Aleuronkörner führen. Ein Vertreter der zweiten Art von aufgespeicherten Stoffen ist der Gerbstoff; dieser befindet sich nur in den Vacuolen und scheint die Rolle zu übernehmen eines Schutzmittels gegen den Biss schädlicher Thiere. Es kommt mir wahrscheinlich vor, dass auch die meisten Pflanzengifte, wie die Alkoloide, welche doch wohl dieselbe Bedeutung haben wie die Gerbsäure, sich in den Vacuolen befinden, weil sie dort vom Tonoplasten verhindert werden eine schädliche Wirkung auf das Protoplasma auszuüben. Dem Gerbstoff scheint aber noch eine andere Bedeutung zuzukommen, nämlich das Anziehen und Aufspeichern der Farbstoffe. Wir sind da in der dritten Kategorie von Stoffen angelangt, welche in der Vacuole gespeichert werden, nämlich die blauen, rothen und ausnahmsweise gelben Farbstoffe, welche bekanntlich in den meisten Fällen eine specielle Anpassung für den Insektenbesuch sind. Zuletzt werden in der Vacuole noch Stoffe aufgespeichert, die ganz gewiss eine vielleicht sehr grosse Bedeutung für die Pflanze haben, deren Nutzen uns aber dennoch bis heute unbekannt ist; zu diesen Stoffen gehört u. A. das Kalkoxalat[1]).

In einigen anderen Fällen spielen die Vacuolen eine ganz gewiss sehr bedeutende Rolle, die uns aber noch nicht ganz deutlich

---

1) Vergl. de Vries, Turgorkraft. Jahrb. f. wiss. Bot., 1884, Bd. XIV, p. 590 und Schimper, Ueber Kalkoxalatbildung in den Laubblättern. Bot. Zeitg. 1888, No. 5—10.

ist, wie bei den insektenfressenden Pflanzen, wo die Erscheinung der Agregation beweist, dass den Vacuolen dort eine grosse Bedeutung zukommt, sei es bei der Ausscheidung eines Fermentes, oder bei der Aufnahme der Nahrung.

Ganz gewiss sind uns noch viele, vielleicht sehr wichtige, Functionen der Vacuolen unbekannt, diejenigen welche ich hier aber genannt habe, werden genügen den normalen Vacuolen, als besonderen Organen des Protoplasmas eine ganz bestimmte Rolle im Stoffwechsel der Pflanze anzuweisen.

Amsterdam, März 1888.

Figuren-Erklärung.

In allen Figuren bedeutet v vacuole, v. a. adventive vacuole, p protoplasma, n kern, ep epidermis. Wenn nichts anders dabei bemerkt, sind die Zellen beobachtet und gezeichnet worden, während sie in 3—5prozentiger Zuckerlösung lagen.

Tafel VII.

Fig. 1. 750:1. Jüngste Zellen aus dem Meristem einer Wurzelspitze von Phoenix reclinata; nur die Vacuolen sind gezeichnet worden.

Fig. 2. 750:1. Jüngste Zellen aus dem Meristem der Stengelspitze von Aristolochia Clematitis; nur die Vacuolen sind gezeichnet.

Fig. 3. 750:1. Scheitelzelle des Stengels eines jungen Keimpflänzchens von Salvinia natans; der Kern n ist ganz unsichtbar durch die Körnchen des Cytoplasmas. Vom Kerne aus gehen Protoplasmastränge durch die Vacuole nach dem Wandbeleg.

Fig. 4. 500:1. Scheitelzelle einer Luftwurzel von Cyathea medullaris. Diese Zelle war mit einer 8% Salpeterlösung plasmolysirt worden und darauf mit Wasser, dem ein wenig Eosin zugesetzt war, ausgewaschen. Das Protoplasma war gestorben und hatte sich roth tingirt; die Vacuole lag als eine farblose Blase in der rothen Flüssigkeit. Kurze Zeit nach dem Zeichnen platzte sie.

Fig. 5. 1080:1. Eine Zelle von Dematium pullulans, in 5 verschiedenen aufeinanderfolgenden Stadien mit je 10 Minuten Zwischenzeit gezeichnet. Die Zelle lag in einem verdünnten Rosinendecoct.

a) Eine Vacuole mit zwei Protoplasma-Ausstülpungen α und β ist sichtbar.
b) α und β sind an der Vacuole entlang geschoben, während unten in der Zelle eine Einschnürung γ und δ sich gebildet hat.
c) α und β sind verschwunden; γ und δ haben sich nach der Mitte hin geschoben und sich dabei soweit vorgrössert, dass die beiden Hälften der Vacuole nur durch einen engen Kanal verbunden sind.

d) Die Einschnürung γ, δ ist zur Durchschnürung geworden. In der oberen Vacuole ist eine Protoplasma-Ausstülpung η entstanden, in der unteren zwei ε und ζ.

e) ε und ζ sind verschmolzen; dadurch ist die untere Vacuole wieder in zwei andere getheilt worden; η ist eine Strecke an der oberen Vacuole entlang geschoben.

Fig. 6. 750:1. Zwei Zellen des Myceliums von Penicillium glaucum, mit einer Zwischenzeit von 1 Stunde gezeichnet.

a) Die obere Zelle enthält 4 Vacuolen, die untere nur eine einzige. Die Vacuolen verändern fortwährend ihre Gestalt.

b) In der oberen Zelle sind die beiden obersten Vacuolen verschmolzen; die Vacuole v aus Fig. 6a hat sich durchgeschnürt. In der unteren Zelle hat sich die Vacuole in zwei kleinere getheilt.

Fig. 7. 500:1. Junges Pollenkorn von Polygonatum vulgare, mit einer Zwischenzeit von je $1^1/_2$ Stunden, 3 Mal gezeichnet.

a) Das Pollenkorn enthält eine in der Mitte eingeschnürte Vacuole, der Kern ist unsichtbar.

b) Die Protoplasma-Ausstülpung hat sich an der einen Seite stark vergrössert, wobei der Kern sichtbar geworden ist.

c) Die Einschnürung der Vacuole ist zur Durchschnürung geworden.

Fig. 8. 500:1. Zelle eines Keimträgers von Capsella Bursa Pastoris.

a) Die Zelle enthält zwei Vacuolen mit dazwischenliegendem Kern; die rechte Vacuole ist etwas eingeschnürt.

b) $1^1/_2$ Stunden später; die rechte Vacuole hat sich in zwei kleinere getheilt.

c) 1 Stunde später; die 3 Vacuolen haben eine Gestaltsänderung erfahren, sodass die zwei neugebildeten einander theilweise überlagern.

Fig. 9. 750:1. Zwei junge Zellen aus der Wurzelspitze von Vicia Faba, mit einer Zwischenzeit von 40 Minuten gezeichnet.

a) Die linke Zelle enthält 3 Vacuolen, die rechte 2 grössere und 4 kleinere.

b) Die Vacuole v in der linken Zelle hat sich in zwei kleinere getheilt; die beiden Vacuolen v in der rechten Zelle sind verschmolzen.

Fig. 10. 500:1. Junges Haar aus einer Knospe von Bryonia dioïca; die Basalzelle ist theilweise von der Epidermis verdeckt.

a) Die obere Zelle enthält drei, die untere zwei Vacuolen.

b) 15 Minuten später; die beiden Vacuolen der Basalzelle sind verschmolzen. In der anderen Zelle hat sich die Vacuole v aus Fig. 10a in zwei andere getheilt, deren eine sich darauf nochmals theilte, während die andere mit der daneben liegenden kleinen Zelle verschmolz.

c) 10 Minuten später; in der oberen Zelle bleiben die Vacuolen constant, in der unteren schnürt sich eine kleine Vacuole v von der grossen ab.

Tafel VIII.

Fig. 11. 500:1. Eine Zelle aus dem Meristem der Stengelspitze von Asparagus officinalis.

a) Die Vacuole zeigt in der Mitte eine Einschnürung.

b) Die Einschnürung ist zur Durchschnürung geworden.

Fig. 12. 500 : 1. Ein zweizelliges Haar eines jungen Blattes von Helianthus annuus.

a) Jede Zelle enthält eine einzige Vacuole.

b) $2^1/_4$ Stunden später; die Vacuole der oberen Zelle hat sich in zwei andere getheilt; die der unteren ist erst durchgeschnürt worden, darauf hat eine der zwei dabei entstandenen neuen Vacuolen sich wieder in drei kleinere getheilt.

Fig. 13. 750 : 1. Junges Haar von Cucurbita Pepo in 3 Stadien gezeichnet.

a) Die Zelle enthält 3 grosse und 6 kleinere Vacuolen.

b) $1^1/_2$ Stunden nachher; die 6 kleinen Vacuolen sind zu einer einzigen verschmolzen, ebenso auch die zwei grossen v aus Fig. 13a.

c) Die Vacuole v aus Fig. 13b hat sich wieder in zwei kleinere getheilt.

Fig. 14. 750 : 1. Junges Haar aus der Knospe eines Keimpflänzchens von Cucurbita Pepo.

a) Gezeichnet Mittags 4 Uhr; das Haar ist einzellig und enthält 2 Vacuolen mit dazwischenliegendem Kerne. Die beiden Vacuolen hatten sich im Laufe des Tages mittelst Durchschnürung einer grossen Vacuole gebildet.

b) Gezeichnet am folgenden Morgen 9 U. 30′; zwischen den beiden Vacuolen hat sich eine Zellhaut gebildet; die Kerne sind nicht sichtbar.

Fig. 15. 750 : 1. Junges Haar eines Keimpflänzchens von Cucurbita Pepo.

a) Gezeichnet Mittags 2 U. 15′, die Zelle enthält 3 Vacuolen, während ein Kern sichtbar ist.

b) Gezeichnet am folgenden Morgen 11 U. 30′. Das Haar ist durch die Bildung einer Zellhaut zweizellig geworden; die obere Zelle enthält eine Vacuole, während die untere deren zwei besitzt. Die beiden Kerne sind sichtbar.

Fig. 16. 500 : 1. Epidermiszelle von der Blattunterseite von Passiflora trifasciata, in 10 % Zuckerlösung durchgeschnitten.

a) In der Zelle liegt eine grosse rothe Vacuole, an beiden Seiten von einem dünnen Saum Protoplasma umgeben.

b) Der Zellinhalt ist in die umgebende Flüssigkeit übergetreten. Erst hatte sich eine Vacuole ζ mit etwas Protoplasma abgeschnürt, darauf fand dasselbe statt mit ε; darauf ist die weitere Inhaltsmasse vom Protoplasma umgeben aus der Zelle hervorgetreten, wobei sich die Vacuole in vier kleinere α, β, γ und δ gespalten hat.

c) Die 10 prozentige Zuckerlösung ist durch Wasser ersetzt worden; ζ ist aus dem Gesichtsfelde verschwunden; ε hat sich stark vergrössert und ist schon theilweise entfärbt, während das dagegenliegende Protoplasma gestorben ist; α, β, γ und δ noch immer vom Protoplasma umgeben, haben sich vergrössert.

d) ε ist geplatzt; kurz nachher sind β, γ und δ aus dem Protoplasma hervorgetreten, worauf γ und δ platzten; β hat sich etwas entfärbt Auch α hat sich stark vergrössert, während das dagegenliegende Protoplasma gestorben ist.

e) β ist geplatzt, α hat sich stark vergrössert und ist dabei theilweise entfärbt, kurz nachher platzte α auch, nachdem ihre Farbe beinahe ganz verschwunden war.

Fig. 17. 180:1. Ein Stück der Epidermis eines erwachsenen Blumenblattes von Camellia japonica. Die Zellen enthalten je eine grosse rothe Vacuole, und in den Ecken verschiedene farblose adventive Vacuolen.

Fig. 18. 500:1. Drei Epidermiszellen eines jungen Blumenblattes der rothen Camellia japonica. Die Zellen enthalten eine grosse, stark lichtbrechende, gerbstoffführende Vacuole und verschiedene kleinere, weniger lichtbrechende adventive Vacuolen.

Fig. 19. 500:1. Eine Zelle eines Staubfadens von Callistemon lanceolatum; man sieht eine grosse rothe, gerbstoffführende Vacuole und 6 kleinere, farblose, adventive Vacuolen.

Tafel IX.

Fig. 20. 750:1. Das Ende eines Fadens von Vaucheria terrestris in 30 % Zuckerlösung durchschnitten.

a) Ein Stück des Protoplasten hat sich abgeschnürt, und ein Theil davon α, ist aus der Zelle hervorgetreten und hat sich abgerundet, man sieht die Vacuole an ein Paar Stellen durchschimmern.

b) In 15 % Zuckerlösung ist die ganze Masse aus der Zelle herausgetreten, wobei sich die Vacuole in zwei grosse α und β, und 5 kleinere getheilt hat.

c) Die 15prozentige Zuckerlösung durch Wasser ersetzt, 2 kleine Vacuolen sind verschwunden, die 3 anderen haben sich stark vergrössert, ebenso auch α und β; dabei werden Protoplasma und Chlorophyllkörner fortwährend mehr von der Vacuole auseinander gerissen.

d) α hat sich stark vergrössert; aus ihr hat sich eine neue Vacuole γ gebildet, welche sich darauf ganz abschnürte, und kurz nachher platzte, ebenso wie auch α. β ist nur durch eine Linie angedeutet, ist aber allein abgebildet in Fig. 20e.

e) β hat sich stark vergrössert, sodass ein Theil der Vacuole schon aus dem Protoplasma hervorgetreten ist.

f) β hat sich in zwei Vacuolen β und δ getheilt unter starker Vergrösserung; aus β bildet sich eine kleine Vacuole ε, aus δ ebenso ζ; kurz nachher platzten ε und ζ, worauf auch β und δ bald sterben.

Einige neue Ameisenpflanzen.

Von

K. Schumann,
Kustos am königl. bot. Museum zu Berlin.

Hierzu Tafel X und XI.

Einleitung.

Unter allen biologischen Fragen, welche die Wechselbeziehungen der Pflanzen und Thiere betreffen, nimmt die der Ameisenpflanzen gegenwärtig eine hervorragende Stelle ein. Von einer Besprechung der jetzt schon ziemlich angeschwollenen Litteratur kann ich um so eher Abstand nehmen, als in der fleissigen und vollständigen Zusammenstellung aller Ameisenpflanzen, welche uns Huth[1]) in zwei kleinen Schriftchen mitgetheilt hat, sowie in der neuerdings erschienenen vortrefflichen Arbeit von A. F. W. Schimper[2]) eine genügende Aufzählung aller derjenigen Schriften gegeben ist, die auf den Gegenstand Bezug nehmen. Ich kann mir indess nicht versagen, des letzten Werkes noch mit einigen Worten zu gedenken. Dasselbe wird in der ganzen Untersuchung der Frage immer einen hervorragenden Platz einnehmen und steht ohne Zweifel an dem Eingange einer neuen Behandlung der ganzen Sache. Sein grosser Vorzug liegt in der klaren methodischen Inangriffnahme des Themas, in der präcisen Fragestellung, in der Schritt für Schritt vorsichtig vorwärts gehenden Lösung der Probleme und der Sonderung derjenigen Pflanzen,

---

1) Huth, Ameisen als Pflanzenschutz, Frankfurt a. O. 1886 und Myrmecophile und myrmecophobe Pflanzen, Berlin 1887.

2) A. F. W. Schimper, die Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen und Ameisen im tropischen Amerika, Jena 1888.

welche den kleinen Insecten nur zufällige Wohnstätten gewähren, von denen, welche ihnen neben besonders präformirten Hohlräumen auch andere günstige Existenzbedingungen bieten, die eine Anpassung der Gewächse an die Bedürfnisse ihrer Gäste nicht verkennen lassen. Während man für jenes letzte Verhältniss bereits den passenden Namen der Symbiose geschaffen hat, könnte man für das erstere die Bezeichnung Synoecie in Vorschlag bringen. Es ist sehr zu bedauern, dass die knapp bemessene Zeit den berufenen Forscher daran hinderte, dieser Angelegenheit weiter nachzugehen und nur zu hoffen, dass ihm eine spätere Gelegenheit erlauben würde, den abgebrochenen Faden seiner nach allen Richtungen hin schon jetzt so hoch befriedigenden Untersuchungen aufzunehmen.

Um eine tiefere Einsicht in das Wesen der Symbiose zwischen Ameisen und Pflanzen zu gewinnen, ist es nicht blos wichtig, alle die einzelnen Fälle genau kennen zu lernen, sondern auch die morphologische Bedeutung der besonderen Apparate, welche den Ameisen zum Aufenthalte dienen, festzustellen. Brasilien ist bekanntlich besonders in seinen nördlichen Gebieten in der Provinz Pará und do Alto Amazonas, ebenso wie das benachbarte Guiana reich an Pflanzen, die regelmässig von diesen Insecten bewohnt werden. Neben den bekannteren Gewächsen, welche bis jetzt schon vielfach besprochen worden sind, wie die Cecropien, ferner die neuerdings von Schimper sehr eingehend behandelte Cordia nodosa Lam., sind besonders zahlreiche Melastomataceen durch eigenthümliche blasenartige Auftreibungen an den Blattflächen, Blattstielen und den Stellen unter den letzteren entweder schon als Ameisenpflanzen durch directe Mittheilungen bekannt, oder als solche verdächtig. Auch von der Gattung Tachia aus der Familie der Gentianaceen theilt Aublet mit, dass die hohlen Stengelglieder Ameisen eine Wohnstätte böten. Vor wenigen Tagen hat Mez eine Angabe darüber veröffentlicht, dass sich an gewissen Arten der Lauraceen-Gattung Pleurothyrium mit Ameisen besetzte Hohlräume nachweisen lassen. Da mir gegenwärtig von allen diesen Pflanzen gutes Material vorliegt, so habe ich es unternommen, an die Besprechung einiger anderer Gewächse, die bisher nicht nach dieser Richtung hin einen Namen hatten, anknüpfend eine eingehendere Betrachtung über sie anzuschliessen. Durch den Zustand der mir vorliegenden Objecte

ist meinen Bestrebungen leider ein frühes Ziel gesteckt. Im Grossen und Ganzen kann man nicht weit über die Darstellung der äusseren Formen, über eine Vergleichung derselben und den Versuch morphologischer Deutungen herausgehen. Selbst den anatomischen Studien stehen in der Regel bei den getrockneten Pflanzen fast unüberwindliche Schwierigkeiten entgegen. Indess gebe ich mich doch der Hoffnung hin, dass ausser den Darstellungen der Formenverhältnisse sich auch noch einige allgemeinere Gesichtspunkte als Resultate ergeben dürften.

I. Die Stengelschläuche der Gattung Duroia.

Als Huth seine Zusammenstellung der myrmecophilen und myrmecophoben Pflanzen beendet hatte, hielt er im botanischen Verein der Provinz Brandenburg einen interessanten Vortrag über diese Gewächse. Ich war damals gerade damit beschäftigt, die mir von den verschiedenen grösseren Herbarien zugegangenen Rubiaceen Brasiliens zu controlliren und oberflächlich zu ordnen. Bei diesem Geschäfte war mir eine Pflanze durch merkwürdige Stengelanschwellungen aufgefallen; sie hatte in mir den Gedanken erweckt, dass hier wohl eine Ameisenpflanze vorliegen könnte und diesen Verdacht äusserte ich bei jener Gelegenheit Huth gegenüber. Ich selbst konnte mich anderer Arbeiten wegen mit der Sache nicht befassen. Ohne Zweifel war diese Veranlassung die Ursache, dass sich Huth bei Karsten nach jener Schachtia dioica Karst.[1]) erkundigte; er schreibt[2]): „Eine von mir an Herrn Karsten gerichtete Anfrage, ob etwa die von ihm in der Flora Columbiae beschriebene, neue Art Schachtea dioica Krst., welche mit ihren an der Spitze der Internodien auftretenden bauchigen Verdickungen den Eindruck einer Myrmecophilen macht, hierher gehört, wurde von ihm dahin beantwortet, dass er auf den wenigen Exemplaren dieser Art, die er in den Ebenen des Meta sah, keine Ameisen antraf.“ Die Gattungen, welche mit Schachtia verwandt sind, habe ich erst im Laufe der

1) Karsten, Flora Columbiae I, t. 44 (Karsten schreibt Schachtia und Schachtea; ich ziehe den ersten Namen vor.)

2) Huth, Myrmecophyle und myrmecophobe Pflanzen, 8.

letzten Zeit eingehender studirt, wobei ich auf jene frühere Vermuthung wieder zurückkam. Mein Interesse für die Sache wurde durch die Lektüre des Schimper'schen Buches wieder lebhafter erregt und so entschloss ich mich, die Frage ernster anzugreifen.

Schon während meiner Untersuchung über die Gattung Amajoua hatte ich gefunden, dass eine von Poeppig[1]) gesammelte Pflanze eine merkwürdige Auftreibung gewisser Zweigglieder wahrnehmen lässt. Jener ausgezeichnete Sammler sah die Amajoua hirsuta in der Gegend von Ega in der Provinz do Alto Amazonas. Diese Localität, welche gegenwärtig auf den Karten unter dem Namen Teffe verzeichnet wird, ist besonders reich an den so interessanten Gewächsen des Amazonasgebietes. Unter den Schätzen, welche Martius von dem nördlichen Zuflusse des Solimoes, dem Japurá mitbrachte, beobachtete ich eine Pflanze, die mir mit jener Poeppig'schen eine ausserordentliche Uebereinstimmung zu haben schien. Die Axenglieder zeigten dieselbe bemerkenswerthe Erscheinung, dass einige an ganz bestimmten Stellen angeschwollen waren; die eigenthümliche Behaarung stimmte in beiden Exemplarreihen vollkommen überein, die Form der Blätter war dieselbe.

Die Gattung Amajoua gehört zu derjenigen Gruppe der Gardenieen, welche regelmässig getrennt-geschlechtig dioecisch ist. Die Diclinie ist entstanden durch Abort: beide Geschlechter besitzen nämlich sowohl Staubgefässe als Stempel; während aber in den männlichen Blüthen der Fruchtknoten vollkommen fehlt, sind in den weiblichen die scheinbar gut entwickelten Antheren ohne Ausnahme steril. Ich habe in allen brasilianischen Gattungen, die hierher gehören (Billiottia, Stachyarrhena, Alibertia, Amajoua, Duroia, Basanacantha) bei den verschiedensten Arten die Staubbeutel genau mikroskopisch geprüft, fand sie aber in allen Fällen aus soliden Gewebemassen aufgebaut. Niemals war darin ein Hohlraum zu erblicken, es waren keine auch nur unvollkommen ausgebildete Pollenkörner darin und auch die Anlage von Mutterzellen konnte ich nicht nachweisen.

Bei allen Gattungen sind die Blüthenstände der männlichen Exemplare mehr- bis vielblüthig. Anders ist es bei den weiblichen

1) Poeppig und Endlicher, Nova genera et species III, 25, t. 230.

Inflorescenzen. Hier ist mit der Sonderung der Geschlechter in der Regel ein Rückgang in der Ueppigkeit der Blüthenentwicklung eingetreten. Nur bei Amajoua finden sich ausnahmslos beide Blüthen in gleicher Fülle vorhanden; Alibertia hat in einer gewissen Art mehrere weibliche Blüthen beisammenstehen (Alibertia garapatica m.).

Alle übrigen Gattungen bieten dagegen an den weiblichen Exemplaren nur eine einzige terminale Blüthe. Die beiden Geschlechter sehen sich also in derselben Art habituell oft sehr unähnlich und ich will hier nebenbei bemerken, dass sie noch heute bei einer bestimmten Art allgemein für zwei verschiedene Gattungen angesehen werden (Billiottia und Rhyssocarpus).

Die Amajoua hirsuta Poepp. und Endlicher von Teffe und die vom Japurá sind ebenfalls den Geschlechtern nach verschieden. Jene stellt die männliche, diese die weibliche Pflanze dar. Da ich nun sehe, dass die Frucht, welche nur vorliegt, einzeln einen Zweig abschliesst, so kann diese Pflanze nicht länger bei Amajoua bleiben, sondern muss in die Gattung Duroia, mit der sie sonst in allen Merkmalen zusammentrifft, übergeführt werden: sie heisst also jetzt Duroia hirsuta m.

Die Duroia hirsuta m. ist ein kleiner Baum von 3—4 m Höhe, der von einem schwachen knotigen Stamme gestützt ist. Die kurzgestielten Blätter sind im Mittelmaass 18—22 cm lang und 7—9 cm breit, schmal umgekehrt-eiförmig, kurz zugespitzt und am Grunde keilförmig; auf der Oberseite sind sie mit ziemlich langen Haaren bestreut, auf der Unterseite sind besonders die Nerven rauhhaarig; die Ränder sind mit Wimpern besetzt. Die Nebenblätter sind zu einer langkegelförmigen Mütze (Fig. 1) verbunden; aussen rauh, innen glatt; an der untersten Basis sieht man innen einen Kranz von einfachen Haaren, in die eine grosse Menge etwa 2 mm langer fingerförmiger Drüsen eingestreut sind. Es ist eine höchst bemerkenswerthe Erscheinung, dass diese Drüsen, welche allen Gardenieen und sehr vielen anderen Rubiaceen zukommen, nicht wie dies gewöhnlich der Fall ist, mit den abfallenden Schutzblättern verschwinden, sondern stehen bleiben. Nachdem nämlich die Stipularmütze ihre Function, den Knospen als Schutzblatt zu dienen erfüllt hat, wird sie von dem sich entwickelnden Triebe, abgehoben. Zu diesem Zwecke löst sich der Gewebeverband derselben mit einer ring-

förmigen Spalte nahe am Grunde der Kappe. Geschähe diese Trennung nach der bei den Rubiaceen und den meisten Gardenieen gewöhnlich befolgten Weise unmittelbar an der Insertionsstelle, so müssten selbstredend die Drüsen mit in Wegfall gerathen. Bei der Gattung Duroia indess, sowie bei Amajoua (aber nur, soweit meine Erfahrung reicht, bei diesen beiden Gattungen) vollzieht sich die Vorbereitung zur Entfernung der Stipeln in einer Ringzone oberhalb der Basis, sodass die einfachen und Drüsenhaare an der Insertionsstelle stehen bleiben und hier einen kurzen strahlenden Kranz um den Grund der Blattstiele bilden.

Während sonst die Stipulardrüsen der meisten Gardenieen ein ungemein reichliches Sekret ausscheiden, sodass die Knospen oft von Harz eingehüllt sind, oder wie die Blätter einen glänzenden Firnissüberzug tragen, habe ich eine derartige Absonderung bei meiner Duroia niemals nachweisen können. Ich bin desshalb genauer auf diese Verhältnisse eingegangen, weil ich später nochmals darauf zurückzukommen gedenke. Es scheint mir nämlich die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass in der Persistenz der Drüsen eine wichtige biologische Besonderheit der Gattung Duroia vorliegen könnte.

Auf die Darstellung des Blüthenbaues hier näher einzugehen, liegt ausserhalb des Rahmens meiner Betrachtung. Es sei nur noch bemerkt, dass die männlichen Blüthen, wie bereits oben erwähnt in grösserer Zahl (c. 12) einen lockeren cymösen Blüthenstand bilden, während die weiblichen Blüthen, die wie jene weiss gefärbt und mittelgross sind, einzeln stehen.

Von um so grösserer Bedeutung ist der Bau des Sprosses, welcher diese endständigen Inflorescenzen trägt. Ich zählte an den Zweigen, welche sich aus der Achsel der Blätter erheben, 4—6 Internodien. Die Knoten sind, wie es der Natur fast aller Rubiaceen gemäss ist, mit decussirt gestellten Blattpaaren besetzt; in der Grösse der Blätter an einem jeden Knoten herrscht kein in die Augen springender Unterschied. Die Länge der Internodien dagegen ist sehr verschieden. Jeder Zweig (Fig. 1) beginnt mit einem langen 12—17 cm messenden basalen Stengelgliede; die darauf folgenden 3—5 sinken in ihrer Länge auf 1 cm, in der Regel aber auf eine noch geringere Grösse herab; nur an einem Exemplare fand ich, dass ein Zwischenglied von 1,5 cm eingeschaltet war.

Ob in der Achsel jedes Blattes eine Knospe angelegt ist, konnte ich, da ich das mir anvertraute Material nicht zerschneiden durfte und da die dichte Behaarung der Achselhöhle eine Prüfung des Bodens mit der Loupe nicht erlaubte, nicht feststellen. Muthmasslich ist dies aber der Fall. Sollten aber nach der gewöhnlichen Regel alle Blattachseln mit Knospen beladen sein, so entwickeln sie sich doch nicht alle, wie man aus den vorliegenden Exemplaren sieht. Es bricht nämlich in der Regel nur aus einem einzigen Blatte des durch das lange Internodium gestützten büschelartigen Aggregates ein Seitenstrahl hervor, in selteneren Fällen trägt auch das gegenüberstehende Blatt einen Zweig. Jede Seitenaxe wiederholt dann den Modus des Blattarrangements, den ich oben geschildert habe.

Während ich die Duroia hirsuta m. behufs ihrer Beschreibung für die Flora Brasiliensis studirte, fiel mir die überraschende Aehnlichkeit auf, welche diese interessante Pflanze zu der Schachtia dioica Karst. hat. Ich ging nun daran, Zug für Zug beide miteinander zu vergleichen und fand, dass sie in der That bis auf äusserst geringe Differenzen einander vollkommen glichen. Die Abweichungen, welche mir die Schachtia dioica bot, bestanden nur in folgenden Details. Die Behaarung war an ihr eine durchgehends ein wenig dichtere und vielleicht auch etwas kräftigere und längere, was besonders in der Bekleidung der jüngeren Schosse zum Ausdruck kam. Von etwas erheblicherer Bedeutung wird denen, welche mit den Eigenthümlichkeiten der diöcischen Gardenieen weniger vertraut sind, die Form des Blüthenstandes erscheinen. Während ich bei der typischen Duroia hirsuta m. die Inflorescenz als eine kurze vielblüthige Cyma beschrieb, bietet sie hier eine gestauchtere Form, sie hat fast die Natur eines Kopfes. Erwäge ich jedoch, dass ich ganz dieselbe Differenz bei einer anderen Duroia, die uns später noch beschäftigen wird, bei der D. saccifera Hook. fil. beobachtete und wenn ich überlege, dass eine noch viel weitgehendere Formenmannigfaltigkeit bei der mit Duroia nahe verwandten Amajoua Guianensis vorkommt, wo weitschweifige selbst mit Blüthenstielchen ausgestattete Cymen und dicht gedrängte echte Köpfchen durch alle Grade der Uebergänge verbunden werden; so will dieser Unterschied zwischen Duroia hirsuta m. und Schachtia dioica Karst. nicht viel besagen. Da nun die Blüthenmerkmale und die Eigenheiten der Früchte, die

ich an beiden Pflanzen untersuchen konnte, genau übereinstimmen und da auch der Schachtia dioica K. jener Wechsel von einem langen und mehreren kurzen Internodien zukommt, da ferner das unterste Internodium wie bekannt, bei Karsten's Pflanze an der Spitze dieselbe Anschwellung bemerken lässt: so nehme ich keinen Anstand, beide Gewächse für identisch zu halten. Wenn sich zwei Arten nur durch ein „mehr oder minder“ von einander unterscheiden, ist es wohl kaum angebracht, sie specifisch auseinander zu halten. Wer etwa geneigt sein sollte, weniger strenge Grundsätze für die Aufstellung besonderer Formen inne zu halten, der könnte wohl wegen der dichteren Behaarung und der gedrängteren Inflorescenz in der Schachtia dioica Karst. eine besondere Form oder Varietät der Duroia hirsuta m. sehen; ich kann mich aber aus den oben angeführten Gründen auch dazu nicht entschliessen, für mich sind beide gleich.

Ich will nun zu der genaueren Darstellung der Anschwellung, die ein besonderes Interesse in Anspruch nimmt, übergehen. Das etwa 2—4 mm im Durchmesser haltende lange Internodium des Zweiges (Taf. X, Fig. 1) behält diese Dimension auf der Strecke bis etwa 4—6 cm unterhalb des terminalen Blattbüschels bei, dann erweitert es sich allmälig und erreicht im oberen Drittel oder in der Mitte der genannten Grösse einen Diameter von 1 cm (zuweilen etwas mehr, zuweilen etwas weniger), um allmälig wieder bis auf den früheren Umfang und endlich wohl auch noch darunter herabzugehen. Die Blattkrone mit ihrem terminalen Blüthenstand hebt sich also gegen die Anschwellung sehr augenfällig ab. Der Schlauch ist in den jüngeren Stadien mit abstehenden Haaren reichlich besetzt (Fig. 1); später fallen dieselben, wie an den übrigen Theilen des Zweiges, ab und es bleiben nur die knotig verdickten Basen stehen, die der Axe eine gewisse Rauhheit verleihen. Macht man einen Längsschnitt (Fig. 2) durch diesen verdickten Theil des Internodiums, so bemerkt man, dass er einen Hohlraum von genau derselben Form darstellt, wie der Körper selbst. Die Wand, welche die Höhle umschliesst ist ziemlich dünn (kaum 1 mm stark), aber relativ fest und wird nach aussen zu von einem widerstandsfähigen Rindengewebe, aus dem viele Bastfaserstränge beim Schnitte sich ablösen, bedeckt. Die Innenwand ist etwas rauh und matt. Ich habe, wenn ich nun die Schachtia mit in den Begriff der Duroia hirsuta m einschliesse,

wie ich dies im Folgenden stets thun werde, 4 Schläuche geöffnet und fand sie alle, sowohl in jüngeren als in älteren Stadien fast vollkommen gleich, wenn ich von den Veränderungen absehe, welche die Rinde im Laufe der Vegetation erfährt. Nur in einem Falle bemerkte ich eine erwähnenswerthe Modification. In der Regel stellt nämlich der Schlauch einen einzigen Hohlraum dar; bei einem Exemplare von Teffe aber, war das Lumen durch ein Diaphragma von papierähnlicher Substanz, der Beschaffenheit nach jenen Blättern gleich, aus denen gewisse bei uns vorkommende Ameisen ihre Bauten herstellen quer durchsetzt. Die Scheidewand war an einer Stelle durchbrochen, sonst sass sie der Innenwand des Schlauches überall fest an. Leider fiel sie bei den weiteren Versuchen, den Hohlraum freizulegen heraus; ihre Festigkeit war aber so beträchtlich, dass sie dabei in ihrer Gestalt nicht verändert wurde.

Die Farbe dieser Platte ist schwarzbraun, ihre Oberfläche zeigt ein sehr feines aber deutliches Korn, die Dicke beträgt kaum $^1/_2$ mm. Sie ist nicht vollkommen plan, sondern ein wenig windschief gekrümmt. Die Perforation befindet sich seitlich, sodass an der herausgenommenen Platte ein rundlicher fast kreisförmiger Ausschnitt zu sehen ist.

Ich fand die schlauchförmigen Erweiterungen des untersten Internodiums bei allen mir vorliegenden 10 Exemplaren, nur ein von Martius gesammeltes fruchtendes weibliches Specimen besass sie nicht. Hier war aber auch die Verschiedenheit der Internodien nicht ausgebildet, diese hatten vielmehr eine die gewöhnlichen Grössen etwas übertreffende Länge und glichen einander in der Ausdehnung. Das Auftreten der Anschwellungen ist ohne Zweifel ein Charakteristicum für die Art. Sie sind auch Karsten nicht entgangen, er hat sie deutlich in der Zeichnung darstellen lassen und erwähnt sie im Texte der Beschreibung. Poeppig und Endlicher haben dagegen die Eigenthümlichkeit übersehen, wenigstens berühren sie weder in der kurzen Diagnose noch in der weitergefassten Description die Sache. Anders war es bei dem Zeichner, der auf der Tafel die Anschwellung klar zum Ausdrucke gebracht hat.

Betrachtet man diesen Schlauch genauer von allen Seiten, so findet man, dass derselbe keinen vollkommen geschlossenen Hohlkörper darstellt, sondern dass er selbst schon in solchen Stadien,

wenn die an der Spitze des Zweiges befindliche Knospe noch nicht vollkommen entwickelt ist, mindestens eine Oeffnung trägt. Unterhalb der Ansätze des untersten Blattpaares (Fig. 1) jedes Büschels befinden sich nämlich an fast jedem Schlauche zwei Spalten, seltener wird nur unter dem einen Blatte ein einziger Schlitz beobachtet. Der Riss beginnt gewöhnlich ein wenig unterhalb der oberen Endigung des Schlauches und zieht sich auf eine bald grössere bald geringere Entfernung über die Oberfläche hin. Fast stets sah ich ihn die Hälfte der Länge des Hohlkörpers durchlaufen, manchmal ging er bis an das Fussende desselben; ja ich fand, dass er noch darüber hinaus bis in den soliden Theil des Internodiums sich fortsetzte. Wenn die beiden Spalten ziemlich gleichmässig entwickelt waren und die Pflanzen wahrscheinlich durch die Einwirkung des Pressens einen erheblichen Druck erduldet hatten, so waren die beiden Hälften der Blase etwas gegeneinander verschoben. Das Bild, welches sich nun bot war ein höchst eigenthümliches; es sah beinahe aus, als ob eine zweiklappig sich öffnende Frucht, etwa von einer Ladenbergia, die eine Durchwachsung erfahren hätte, durch septicide Dehiscenz gespalten wäre.

Es ist mir sehr wahrscheinlich, dass diese Klüfte in dem Hohlkörper spontan entstehen. Wegen des genau in den Meridianen liegenden Verlaufes gewinnt man ganz den Eindruck bei der Betrachtung, dass es Spalten sind, die durch eine aequatoriale Gewebespannung hervorgerufen werden. Sie müssen verhältnissmässig sehr früh entstehen, denn selbst an den jüngsten Zuständen, welche ich fand, hatten sie bereits eine ziemlich beträchtliche Entwicklung von wulstförmigen Wundrändern erfahren. Wenn man grosses mit kleinem vergleichen darf, so könnte man die Schlitze am besten dem Aussehen nach mit den Frostspalten der Bäume in Parallele setzen, denen sie in allen Hinsichten überraschend ähnlich sehen. Da die Risse nach der Basis hin allmälig enger werden, so nehme ich an, dass sie von oben nach unten sich öffnen. Trotzdem, dass die durch den Spalt freigelegten Cambialränder Callus bilden und endlich, wie ich soeben sagte, die Veranlassung zur Anlage von Wundrändern geben, wird doch bei Duroia hirsuta m. ein Verschluss der Spalten nicht herbeigeführt; sie bleiben vielmehr soweit ich dieses an meinen Exemplaren sehen konnte, selbst dann

noch offen, wenn die Epidermis des Zweiges bereits abgeworfen und durch Korkschichten ersetzt worden ist.

An sämmtlichen mir zur Verfügung stehenden Zweigen bemerkte ich in dem Schlitze, meist nahe dem oberen Ende, dort wo er mir am weitesten zu sein schien, ein kleines kaum 1 mm im Durchmesser haltes Loch (Fig. 2a). Es ist so auffällig, dass es auch bei nicht sehr genauer Prüfung gesehen werden muss. Die im Durchschnitt zirkelrunde Oeffnung geht bis in den Innenraum des Hohlkörpers und stellt eine noch bequemere Communication zwischen ihm und der äusseren Oberfläche her, als der immerhin enge Spalt.

Ich komme nun nach der Beschreibung der Pflanze und der Darstellung der eigenthümlichen Hohlräume, welche innerhalb eines sonst vollkommen soliden Axengebildes auftreten zu der Bedeutung, welche dieselben im Haushalte der Pflanze haben dürften. Wie ich in der Einleitung bemerkte, habe ich schon vor mehreren Jahren Huth gegenüber die Vermuthung geäussert, dass sie möglicher Weise als Ameisenherbergen dienen könnten. Die Auskunft, welche Karsten auf Huth's Anfrage gegeben hatte, ist nun dieser Voraussetzung nicht günstig. Karsten theilte mit, dass er „auf den wenigen Exemplaren der Schachtea dioica, die er in den Ebenen des Meta sah, keine Ameisen“ angetroffen hatte. Ich liess mich aber durch diese Angaben nicht beeinflussen, indem ich mir sagte, dass es immerhin misslich ist, aus dem Gedächtnisse heraus über eine viele Jahre zurückliegende Thatsache eine sichere Aussage zu machen. Die Blasen hatten eine so überraschende Aehnlichkeit mit den eigenthümlichen Einrichtungen an Pflanzen, die sicher als Ameisenwirthe bekannt sind, namentlich mit Cordia nodosa Lam. auf der einen und dem womöglich noch interessanteren Clerodendron fistulosum Becc. auf der anderen Seite, dass ich mich entschloss, nach jenen kleinen Gästen an der Duroia hirsuta m. zu suchen. Da ich nun nicht auf gut Glück die Blasen zerschneiden konnte, weil ich das mir anvertraute Material möglichst schonend behandeln musste; so machte ich mir zunächst einen Plan, wie ich am besten zum Ziele gelangen würde.

Die Wahrscheinlichkeit, dass ich in den Schläuchen die Ameisen noch in erheblicher Zahl finden würde, war nicht gross. Von allen derartigen Pflanzen wird uns berichtet, dass die Thierchen bei der

geringsten Störung, bei der Berührung und Erschütterung des Baumes wüthend und angriffslustig ihre Herbergen verlassen, um sich auf den Feind zu stürzen. Die Sammler werden natürlich danach getrachtet haben, ihre Exemplare von den lästigen Insekten möglichst zu befreien. Da ferner die Blasen relativ fest sind, so werden die Insekten auch nicht, selbst wenn einige, während die Pflanzen nach Hause gebracht worden sind, in ihre Wohnung wieder zurückgekehrt sind, durch die zusammengedrückten Schläuche getödtet. Die Wölbungen des Schlauches setzen dem Drucke der auf ihnen lastet, in der Regel einen recht erheblichen Widerstand entgegen. So waren diejenigen der Exemplare Karstens mit Ausnahme des jüngsten fast gar nicht zusammengedrückt. Poeppig und besonders Martius müssen die Pflanzen mit stärkerem Gewichte belastet haben, denn bei diesen waren einige in höherem Grade deformirt. Da also die Blasen im Ganzen ihre Gestalt behalten, so bleibt auch die kreisförmige Zugangsöffnung durchgängig. Waren nun selbst einige Ameisen in den Wohnkammern verblieben, so konnten sie während des Trocknens doch unbehelligt ausschlüpfen.

Einige Aussicht auf den gewünschten Erfolg konnte mir nur eine solche Blase gewähren, welche beim Trocknen die Lage hatte, dass die Zugangsöffnungen durch dass Presspapier verschlossen waren. Nach einigem Suchen fand ich in der That einen Schlauch, der diesen von mir gewünschten Bedingungen entsprach. Ich öffnete ihn und fand darin 84 Individuen einer kleinen im ausgestreckten Zustande etwa 4 mm langen Art, deren Hauptfarbe ein intensives glänzendes Schwarz war[1]). Damit war eigentlich der Beweis, dass Ameisen die Hohlkörper zu bevölkern pflegen, erbracht. Mir schien indess die Nothwendigkeit geboten, auch noch andere Blasen zu prüfen. Ich fand in 3 weiteren die ich untersuchte, wenn auch nicht mehr unverletzte, so doch noch in Trümmern deutlich erkennbare Ameisenleiber. Ein sehr alter Schlauch (Taf. X, Fig. 2), der einem Poeppig'schen Exemplare entstammte und der sich durch seine beträchtliche Grösse, wie durch das oben erwähnte Diaphragma auszeichnete, barg Köpfe, Beine, sowie Abdomina mit dem Thorax verbunden auf dem Grunde der unteren Abtheilung. In diesem

1) Siehe am Schlusse die Bestimmungen der Arten von Emery.

Hohlraume fand ich auch geflügelte Insecten von geringer Grösse, die mir Aphiden zu sein schienen. Alles zusammen bildete einen Detritus von etwa $^{1}/_{2}$ cbcm Raum, in dem ich ausserdem kleine kugelrunde Körperchen ohne Structur nachweisen konnte, die vielleicht Kothballen waren.

Was von diesem Schlauche gilt, hat auch Bezug auf alle anderen von mir geöffneten. Es war nicht ein einziger Hohlraum, der nicht mehr oder weniger Zeugniss davon ablegte, dass Ameisen darin gehaust hatten; bald sah ich verstümmelte Beine, Leiber oder einzelne Köpfe, bald fand ich Flügelreste. Der Umstand, dass diese Thierchen nicht mit peinlichster Reinlichkeit ihre Gehäuse im Stande halten, war für die Festsetzung der Thatsache sehr förderlich.

Damit, dass ich in den Blasen Ameisen gefunden habe, ist aber noch nicht bewiesen, dass die Duroia hirsuta m. im strengen Sinne des Wortes eine Ameisenpflanze ist, dass also ein gewisses Verhältniss der Symbiose zwischen beiden Organismen vorliegt. Es ist mit Recht darauf aufmerksam gemacht worden, dass man mit der Verleihung dieser Bezeichnung zu freigebig gewesen ist. Erscheint es doch nach den Untersuchungen von Treub und Goebel sogar gegenwärtig fragbar, ob die Ameisenpflanzen katexochen, welche die Gattung Myrmecodia und Hydnophytum, sowie die beiden anderen verwandten Geschlechter Myrmedoma und Myrmephytum ausmachen, mit ihren Gästen wirklich ein symbiotisches Verhältnis eingegangen sind. Die Ameisen suchen alle versteckten Hohlräume auf und nisten sich darin ein.

Der Beweis, dass ein Gewächs als Ameisenpflanze zu betrachten ist, kann im strengsten Sinne des Wortes nur an den Localitäten geführt werden, wo dasselbe seine Heimath hat. Vor allem muss durch das Experiment gezeigt werden, dass die Entfernung der Insecten auf das Gewächs einen bemerkbar schädigenden Einfluss ausübt. Aus diesem Grunde müssen alle meine Versuche, das symbiotische Verhältniss nachzuweisen, mangelhaft bleiben und können nur den Anspruch erheben, ein solches wahrscheinlich zu machen. Dass in der Duroia hirsuta eine Pflanze vorliegen kann, die eine Anpassung an ihre Gäste zeigt, halte ich wegen der Beschaffenheit der Herbergen für nicht unmöglich. Zunächst ist die Analogie mit anderen als Ameisenpflanzen sicher gekannten Gewächsen nicht be-

streitbar. Ich habe oben bereits zwei namhaft gemacht, mit denen sie gut zusammenstimmt, nämlich Cordia nodosa Lam. und Clerodendron fistulosum Becc. Auf die weitere Vergleichung mit diesen komme ich später zurück.

Ohne Zweifel müssen folgende Umstände die Aufmersamkeit in hohem Grade rege machen. Die Schläuche entstehen mitten in einem sonst soliden Gewebekörper, in der Axe eines Zweiges. Gerade dann würde ich viel weniger geneigt sein, an ein symbiotisches Consortium zu denken, wenn die Stengelstücke der Duroia hirsuta m. ihrer ganzen Länge nach Hohlkörper darstellten. Man ist durch diesen Umstand zu häufig verführt worden, jenes Verhältniss zu vermuthen, und Goebel, Schimper u. A., welche es mit kritischeren Augen ansehen, als z. B. Beccari, haben zu eindringlich vor Täuschungen gewarnt, als dass man nicht in der Beurtheilung vorsichtig werden sollte. Wenn nun in einer dichten Axe regelmässig oder fast regelmässig ein Hohlraum entsteht, der, wie ich nachgewiesen habe, ohne Ausnahme entweder Ameisen in grosser Menge enthält, oder unverkennbare Reste aufweist, die auf die Benutzung desselben durch diese Thierchen hindeuten; so ist die Vermuthung, dass jene Modification eine Anpassung an die Gäste darstellt, doch nicht ohne weiteres abzulehnen.

Dazu kommt ferner, dass die Hohlräume nicht an einer beliebigen Stelle des Zweiges sich vorfinden, dass sie vielmehr an nach zwei Hinsichten regelmässig bestimmte Orte gebunden sind. Erstens nämlich haben die Internodien ungleiche Länge, und zwar ist ohne Ausnahme das unterste Internodium das längste; zweitens entstehen die Blasen immer am Ende dieses Zwischenknotenstückes unmittelbar unter dem Blattbüschel, der mit dem Blüthenstande den Zweig krönt. Es ist wohl denkbar, dass die Bedeutung der Ameisen hier wie in ähnlichen Fällen darin liegt, die Blüthen vor unberufenen Eindringlingen zu schützen; ist dem so, dann würde die Lage der Blase um so besser verständlich sein. Auf den ersten Umstand, dass lange und kurze Internodien an jedem Zweige gesetzmässig auf einander folgen, möchte ich, wenn dies auch nicht ohne Gewicht sein dürfte, doch keine so hohe Bedeutung legen, wie auf die zweite Thatsache, die Lage der Blase. Bei Amajoua nämlich finde ich eine ganz ähnliche Erscheinung, wenn auch nicht mit solcher fast aus-

nahmsloser Widerkehr. Es wechseln in beiden Gattungen, wie es scheint, Langtriebe, die locker und äquidistant gestellte Blattpaare besitzen, und kürzere, die am Ende einen Blattbüschel auf einem längeren Internodium tragen. Den ersteren liegt die Function ob, die Ausgliederung des vegetativen Verzweigungssystems fortzuführen, die letzteren, welche aus den Achseln der Blätter jener hervorbrechen, erzeugen endlich die terminalen Blüthenstände. Nicht für undenkbar halte ich, dass diese langen blattlosen Basaltriebe die Bedeutung haben können, die Blüthenstände recht augenfällig zu exponiren, was um so nothwendiger ist, als die rein weissen, ausserordentlich stark duftenden Blüthen der Duroia und Amajoua auf Nachtfalterbefruchtung eingerichtet sein dürften.

Dass aber die Anlage der Schläuche in den langgedehnten unteren Stengelgliedern eine gute Vorbedingung fand, ist nicht zu leugnen.

Erhöht wird das Maass der Wahrscheinlichkeit, dass hier eine Anpassung an Ameisen vorliegt, dadurch, dass an ganz bestimmten Stellen des Schlauch-Umfanges, nämlich unter den Blattansätzen des untersten Paares, Oeffnungen gefunden werden, welche eine Kommunikation mit dem Innern des Hohlkörpers herstellen. Leider lagen mir keine so jungen Entwicklungszustände vor, dass ich hätte unwiderlegbar nachweisen können, diese Spalten seien spontane, denn ich sah kein solches Gebilde, das ringsum geschlossen war. Folgende Indicien sprechen aber doch dafür. Selbst an dem am wenigsten entwickelten Schlauche sind Wundränder vorhanden, die einen so glatten Verlauf zeigen, dass es aussicht, als ob die Trennung des Gewebeverbandes mit einem scharfen Messer vollzogen worden sei. Wäre die Oeffnung durch die Wirkung eines von aussen eingreifenden Factors geschehen, so müsste man wohl die Angriffsstellen nachweisen können. Dies gelingt ja auch sehr leicht an den Orten, wo später die Ameisen die Spalte bis dahin erweitern, dass ihnen eine bequeme oder passendere Eingangspforte geboten wird. Dass aber in dem Eindringen der Ameisen auch nicht der erste Anstoss zur Spaltung des Schlauches gegeben ist, beweist der oben erwähnte jüngste von mir gesehene Hohlkörper, der zwar schon geöffnet, aber noch nicht von den Ameisen zur Bildung einer Thür benagt war.

Eine andere Thatsache, die für die Spontaneität des Aufplatzens spricht, liegt in dem genau meridional verlaufenden Gange der Spalten, die sich besser als die Folge einer äquatorialen Gewebespannung, als dadurch erklären lässt, dass man sich vorstellt, irgend ein Thier habe die Oeffnung genau in dieser Richtung und ausnahmslos in derselben bewirkt.

Wie ich also die Sache auch betrachte, immer werde ich wieder auf den Punkt zurückgeführt, dass in dem Schlauche, welcher später den Ameisen als Wohnplatz dient, spontane Spalten erzeugt werden. Und ich muss in der That gestehen, dass, wenn ich vorurtheilsfrei das ganze Gebilde betrachte, von dem ich sagte, man könne es mit einer Rubiaceenkapsel vergleichen, die im Aufspringen begriffen ist, so ist für mich wenigstens jede andere denkbare Möglichkeit ausgeschlossen. Ueberdies hat ja die Sache nichts so abnormes. Sind denn die präformirten verdünnten Stellen an dem oberen Teile der Knospenrinne bei Cecropia, oder der späteren Zugangslöcher in die Hohlräume des Stengels von Clerodendron fistulosum Becc. nicht viel merkwürdiger?

Nun könnte noch der Einwand erhoben werden, die ganzen merkwürdigen Gebilde seien Gallen im weiteren Sinne des Wortes. Man kann nicht in Abrede stellen, dass zumal ältere mit stark gewulsten Wundrändern versehene Blasen, deren Epidermis abgerieben ist, gewissen Formen dieser Dinge nicht unähnlich sehen. Dagegen lässt sich aber zunächst hervorheben die Constanz des Vorkommens nur an den langen Internodien unter den Blattbüscheln, ferner die Regelmässigkeit ihrer Gestalt und die Beschaffenheit des Hohlraumes. Endlich kann nie darin ein Thier oder eine Thiercolonie nachgewiesen werden, die den Verdacht erwecken könnten, sie seien zu der Bildung des Körpers die Veranlassung gewesen; auch die Wahrscheinlichkeit, dass es aus dem Behälter durch die schon früh entstehende Kluft entflohen sei, ohne irgend eine Spur von sich zurückzulassen, ist nicht gut denkbar. Man wäre wohl im Stande, noch andere Momente herbeizuziehen, um die Gallenatur des Hohlkörpers zu widerlegen; ich will mir indess damit Genüge sein lassen.

Ich muss hiermit meine Betrachtungen über die Stengelblasen der Pflanze abbrechen, indem ich nochmals dem Bedauern Ausdruck

verleihe, dass ich nicht zu sicheren objectiven Resultaten gelangt bin, sondern nur den wahrscheinlichen Sachverhalt muthmaassen konnte. Die Pflanze wird weder in botanischen Gärten cultivirt, noch befinden sich in den europäischen Herbarien getrocknete Materialien, die ferneren Aufschluss zu geben vermögen. Die mir vorliegenden Zweige sind aber nicht geeignet, die Untersuchungen weiter zu fördern, da leider von dem Sammler, wie in so vielen Fällen, die nicht blühenden Triebe, obgleich für die Beschreibung der Pflanzen oft so wichtige Theile, vernachlässigt sind.

Nachdem ich zu zeigen versucht habe, dass sich die Duroia hirsuta m. durch die Darbietung eines zweckmässigen, besonders entwickelten Hohlraumes, der durch die spontane Oeffnung mittelst Längsspalten noch leicht zugänglich gemacht worden ist, den Ameisen angepasst zu haben scheint, ist die zweite Frage, welche ich aufnehmen muss, die, ob sie auch ihren kleinen Gästen Nahrungsmittel zu liefern im Stande sei.

Bei der Betrachtung der verschiedenen Fälle, in denen wirklich Symbiose zwischen den Ameisen und ihren Wirthen stattzufinden scheint oder bereits nachgewiesen ist, habe ich den Eindruck erhalten, dass diese Ameisenformen nicht zu den vagirenden, sondern zu den sesshaften gehören. In den mir bekannten Fällen sind es sehr minutiöse Gestalten, denen ihre Grösse, selbst bei der Annahme schnellster Bewegung ihrer Gliedmaassen, ein Hinderniss für die Bewältigung weiterer Räume entgegenstellen würde. Denken wir uns ferner, dass ihre Bedeutung für die Pflanze darin liegt, dass sie ihr einen Schutz angedeihen lassen (wahrscheinlich gilt derselbe sehr oft den Blüthen), so wird die Annahme, dass sie ihre Wohnplätze höchstens dann aufgeben, wenn es sich um die Neubesiedelung eines anderen Pflanzenstockes handelt, wenn sie also gewissermaassen s c h w ä r m e n, noch wahrscheinlicher gemacht. Natürlich kann ich diese Gedanken nur als Vermuthungen aussprechen, die erst durch die Prüfung in der Heimath ihre Begründung, eventuell freilich auch ihre Ablehnung erfahren müssen.

Diese Erwägungen führen mich dahin, dass ich die Darbietung von Nahrungsmitteln durch die Pflanze für eine Nothwendigkeit erachten muss. Ohne Zweifel werden bei weiter darauf verwendeter Aufmerksamkeit alle Gewächse, die in Symbiose mit kleinen und

kleinsten Ameisenformen leben, Vorrichtungen erkennen lassen, die nur durch diesen Endzweck biologisch zu erklären sind. Die Verbreitung extranuptialer Nektarien ist eine so überaus grosse, dass diese wahrscheinlicher Weise in sehr vielen Fällen den Ameisen wünschenswerthe Speise reichen; und es wird auch nicht schwierig sein, an einzelnen bisher noch nicht als Speisewirthe bekannten Ameisenpflanzen diese oder ähnliche Organe aufzufinden. Viel seltener scheinen die Fälle zu sein, dass die Ameisenpflanzen feste Nahrung gewähren, wie dies so schön bei Cecropia und Acacia nachgewiesen ist. Meine Untersuchungen haben wenigstens nach der letzten Richtung hin nur negative Resultate ergeben.

Wie steht es nun bei Duroia hirsuta m.? Sind wir hier im Stande, Organe namhaft zu machen, die während der Anthese secerniren, so dass sie als Nahrungsquellen betrachtet werden könnten? Ich glaube dies in der That. Bei meiner Beschreibung dieser Pflanze nahm ich bereits Gelegenheit, auf die eigenthümliche Form der Stipeln hinzuweisen, die hier wie bei der Gattung Amajoua ganz abweichend von den Gestalten sind, die gewöhnlich bei den Rubiaceen wahrgenommen werden. Es gibt zwar einige Fälle in dieser grossen Familie, wo die beiden Nebenblätter sich spiralig decken, so dass ein Kegelmantel entsteht, der die conische Knospe fest umschliesst und schützt; mir ist dagegen kein weiteres Beispiel bekannt, dass beide Stipeln, wie bereits Karsten sehr treffend für seine Schachtia dioica angegeben hat, einen an den Flanken ringsum geschlossenen Hohlkegel bilden, an dem keinerlei Sonderung der beiden Componenten zu sehen ist. Wie die Stipeln, welche die Laubknospe umgeben, verhalten sich übrigens auch diejenigen, welche zu dem obersten Blattpaare jedes Zweiges gehören, die also den dann folgenden Blüthenstand umhüllen. Nur sind die letzteren, dem grösseren Umfange der Inflorescenzknospe entsprechend, viel ausgedehnter, sodass ich bei einer D. sacrifera Hook. fil. Nebenblätter von 5 cm Länge mass, während diese Dimension an der Laubknospe von D. hirsuta m. kaum 2 cm überstieg.

Es ist von vornherein einzusehen, dass eine Knospe, welche durch eine Kegelkappe vollkommen von der Aussenwelt abgesperrt ist, keiner weiteren Schutzmittel als etwa mechanischer Versteifungen bedarf; namentlich werden äussere Schleim- oder Lack- oder Firniss-

bezüge im Ganzen keine grössere Versicherung herbeiführen, wie dies allerdings bei den mehr offenen Knospen von den nächsten Verwandten, nämlich Alibertia, sehr nothwendig erscheint.

Zudem dürfte die Absonderung eines Sekretes nicht blos unzweckmässig sein, sondern unmöglich. In den Knospen sind die einzelnen Organe so dicht aneinander gepackt, dass ein frei verfügbarer Raum überhaupt nicht vorhanden ist. Wenn nun die basilaren Stipulardrüsen anfangen zu secerniren, so kann das Sekret sich zwar dort, wo die gegen einander verschiebbaren Nebenblätter eine wenn auch nur geringe Lücke öffnen, einen Weg bahnen und in's Freie gelangen, oder indem es sich zwischen die Knospenorgane schiebt, diese auseinander drängen und sich so Platz schaffen. Wie soll dies aber bei einer ringsum und oben und unten dicht verschlossenen Düte geschehen? Und in der That habe ich weder bei Duroia hirsuta m., noch bei allen anderen Arten dieser Gattung oder der Gattung Amajoua jemals eine Schleim- oder Firnissausscheidung wahrnehmen können. Selbst wenn nur geringe, mit dem blossen Auge nicht mehr sichtbare Absonderungen bei den Gardenieen stattfinden, so kann man sie leicht nachweisen dadurch, dass man das Object in wenig Alkohol kocht, abfiltrirt und Wasser zusetzt. Die Flüssigkeit wird dann milchig. Dieses Reagenz liess ebenfalls eine Ausscheidung von irgend welchen Stoffen, die denen ähnlich sind, die Alibertia so massenhaft absondert, nicht erkennen.

Man kann nicht voraussetzen, dass ein so constanter und umfangreicher Absonderungsapparat, wie er an den Nebenblättern von Duroia und Amajoua vorkommt, vollkommen überflüssig sei. Ein schönes Beispiel dafür, dass functionell reducirte oder durchaus überflüssige Organe in Wegfall kommen, bieten uns dieselben beiden Gattungen. Ich habe die Beobachtung gemacht, dass die Kelche der Pflanzen bei allen mit Stipeln versehenen Gewächsen sich in ihrer morphologischen Ausgliederung vielmehr an diese, als an die Laubblätter anschliessen. Besonders gilt dies von den Gewächsen mit paarig gestellten Blättern und interpetiolaren Stipeln. Da letztere hier nicht selten scheidig verwachsen, so ist der Kelch sehr oft eine genaue Wiederholung der Stipularscheiden mit ihren Zähnen, drüsigen Anhängen, der Einschaltung von Zwischenläppchen u. s. w. Die Spermacoceen z. B. bieten dafür eine wahre Blumenlese; ich werde

anderen Ortes Gelegenheit haben, auf diese Sache zurückzukommen. Die glandulosen Bekleidungen der Stipeln bei den Gardenieen findet man nun in den Kelchen fast regelmässig ebenfalls wieder. Die Uebereinstimmung zwischen Kelchen und Stipularscheiden bei den Rubiaceen hat, da ihnen beiden die gleiche functionelle Bedeutung zukommt, nichts überraschendes: beide sind in erweitertem Sinne Knospentegmente und beide können demnach, da man sie auch gemeinhin als morphologisch verwandt ansieht, auch gleiche Merkmale annehmen. Bei Alibertia ist nun die Thätigkeit der Kelchdrüsen eine ausserordentlich ergiebige. Will man eine Blüthenknospe besonders der Formen, welche die trockenen Campos von Brasilien bewohnen und die den Schutz hauptsächlich zu bedürfen scheinen, untersuchen: so muss man oft die harten Lackkrusten absprengen, ehe man die Beschaffenheit prüfen kann. Zuweilen ist man kaum im Stande, an den Blumenröhren ein wohl stets vorhandenes Indument zu erkennen, weil sie von einem gleichmässigen Firnisse so überzogen werden, dass die Härchen ganz verschwinden.

Es war mir nun interessant zu fragen, wie sich die Kelche der durch die grossen mützenförmigen Stipularscheiden so gut geschützten Blüthen von Duroia und Amajoua verhielten. Bei meiner Untersuchung fand ich, dass die nun höchst wahrscheinlich functionslos gewordenen Kelchdrüsen nicht mehr vorhanden waren.

Jedenfalls hat der Analogieschluss, dass den Stipulardrüsen von Duroia hirsuta m. (und sagen wir gleich von allen Duroia-Arten, denn so weit ich sie untersuchen konnte, sind sie alle gleich), und von Amajoua, weil sie nicht verschwunden sind, noch eine weitere Function zukommt, einige Berechtigung. Gestützt wird derselbe noch durch zwei Momente. Nachdem die Knospen der Rubiaceen, seien es junge Blüthen- oder Blattanlagen, sich entwickelt haben, treten die Drüsen ausser Function, was man daran erkennt, dass sie collabiren und sich bräunen. Bei Duroia aber und Amajoua kann man unter dem Mikroskope einen Unterschied in dem Aussehen der Drüsen in der noch geschlossenen Umhüllung und während des Austreibens nicht nachweisen. Zweitens, und dieser Umstand erscheint mir am wichtigsten, fallen die Drüsen mit den sich sehr früh ablösenden Stipularscheiden nicht ab, sondern ganz gegen die Erfahrung, die man bei allen übrigen Rubiaceengattungen mit abfallenden Neben-

blättern macht, bleiben sie, weil der trennende Spalt nicht an der Insertionsstelle, sondern darüber liegt, an den Blattnarben sitzen.

Wenn ich nun meine, diese Drüsen, welche gewöhnlich die Function haben, die Tegmentirung der Knospen fester zu machen, könnten hier die Aufgabe übernehmen, irgend eine Flüssigkeit abzusondern, welche den Ameisen Nahrung bietet, so ist dies nur eine Vermuthung, aber sie ist doch der Prüfung in der Heimath werth.

Wie sehr es zu bedauern ist, dass der Zustand getrockneter Pflanzen ein baldiges Ziel jeder eingehenden Untersuchung setzt, habe ich deutlich an diesem Beispiele empfunden. Ich konnte nicht einmal prüfen, ob die Drüsen Zucker ausscheiden, weil die Präparation der Pflanzen mit Quecksilbersublimat jede Reaction illusorisch macht. Auch die anatomische Struktur der Drüsen konnte nur mangelhaft nach Oberflächenbildern betrachtet werden. Alle biologisch wie histologisch übrig bleibende interessante Fragen zu lösen muss den in glücklicherer Lage befindlichen Forschern überlassen bleiben.

Anderweitige Organe, welche eine derartige Aufgabe übernehmen könnten, sind wenigstens mit blossem Auge oder mit der Loupe absolut nicht zu erkennen, das glaube ich nach den vielfachen Beobachtungen, die ich an den acht Arten von Duroia und den drei sehr formenreichen Arten von Amajoua anstellen musste, sicher behaupten zu dürfen. Ich habe extranuptiale Nektarien weder auf der Ober- noch Unterseite der Blätter, noch auf den Axenorganen gesehen, obgleich mir diese Gebilde von den Sterculiaceen, Euphorbiaceen etc., wo ich sie häufig zu bemerken Gelegenheit hatte, durchaus nicht ungeläufig sind.

Der Duroia hirsuta m. ähnlich verhält sich eine zweite Art dergleichen Gattung, die D. petiolaris Hooker fil., welche von Spruce zwischen Manaos und Barcellos und ausserdem in vollkommen mit diesen Exemplaren übereinstimmenden Stöcken am Uaupés bei Panuré gesammelt worden ist. Auch hier wechseln lange untere einzelne Internodien mit einer grösseren Zahl kürzerer und hier etwas dickerer. In ganz gleicher Weise ist das obere Ende des längeren Internodiums zu einer Blase metamorphosirt, welche an dem von mir gemessenen Specimen eine Länge von 4,5 cm und an der grössten etwa im oberen Drittel gelegenen Breite 6 mm Durchmesser hatte. Die Oeffnungen in dieser Blase sind aber ohne Zweifel anderer Natur.

So junge Zustände, wie ich sie bei D. hirsuta m. gefunden, in denen sich die Ameisen noch keinen Zugang zu dem Innern gebahnt haben und die Längsspalte noch ausserordentlich eng war, habe ich nicht gesehen. Ich bemerkte bei dem Aufschneiden einer Blase in derselben eine noch vollkommen erhaltene Ameise und ausserdem Detritus von mehreren anderen, sowie einzelne Fremdkörper. Die betreffende Kammer war durch vier kaum 1 mm im Durchmesser haltende kreisrunde Oeffnungen zugänglich gemacht. Im Innern sah ich, dass aber schon früher eine ganze Reihe anderer Schlupflöcher als Zugänge gedient haben musste, die jedoch durch die Pflanze wieder verschlossen worden waren. Die Eingangspforten waren nicht unregelmässig zerstreut, sondern befanden sich an dieser Blase in vier Längsreihen geordnet, jede in fast gleichem Abstande genau unter der anderen. Ich zählte in der einen Reihe deren 10; an ihnen war eine bestimmte Altersfolge nicht nachzuweisen, denn die eine der noch benutzten Zugangsöffnungen war in dieser Reihe von oben gezählt die fünfte. Ob an den Schläuchen von Duroia petiolaris doch in der frühesten Zeit Sprünge entstehen, die den Ameisen den Zutritt in das Innere vorbereiten, oder ob hier nur dünnere und aus weniger festen Geweben gebildete Längsstreifen vorhanden sind, die von ihnen leichter durchbrochen werden können, war ich nicht im Stande nachzuweisen. Dass aber in den sehr festen holzigen mit zähen Faserbündeln ausgestatteten Wänden der Schläuche different gebildete Stellen vorkommen müssen, darauf deutet meines Erachtens nach die reihenweise Anordnung der Zugangslöcher.

Wenn ich eine Vermuthung aussprechen darf, wie ich mir den Sachverhalt vorstelle, so wäre sie folgende. Wahrscheinlich bilden sich bei Duroia petiolaris Hook. fil. unter den Ansätzen des basalen Blattpaares Klüfte in derselben Weise wie bei Duroia hirsuta m., ausserdem treten aber noch zwei dazwischen gelegene auf, deren Verbindungsebene gegen die der ersten um 90° gedreht ist. Die schwachen Andeutungen von Wundrändern, die man auf der Oberfläche der Schläuche sieht, sowie die innere Rinne, in der die offenen oder geschlossenen Pforten liegen, könnten wohl diesem Sinne gemäss aufgefasst werden. Diese Spalten werden von den Ameisen benutzt, um Eingangspforten zu construiren. Indem sich nun anders wie bei Duroia hirsuta m. der Spalt von seiner engsten Stelle, also von

der Basis des Schlauches, her schliesst, müssen von den Thierchen immer neue Oeffnungen an den noch leichter zu durchbrechenden Stellen gebaut werden. Durch die Callusbildung an den Wundrändern von Duroia hirsuta m. lag offenbar schon ein Versuch zur Ueberwallung der Kluft vor, ein Naturheilungsprocess. Dieser hatte indess, da ich auch die offenbar mit den Petiolarisschläuchen mindestens gleichaltrigen ältesten Hirsuta-Blasen noch offen fand, keinen Erfolg. Das Ziel, welches dort angestrebt wurde, hatte D. petiolaris Hook. fil. erreicht. Mit den Spalten schliesst sie aber auch die Schlupflöcher ihrer Gäste und diese müssen, nachdem sie nach und nach eine ganze Reihe von Eingangspforten sich geschaffen haben, nach deren Verstopfung wieder an anderen Stellen durchzubrechen versuchen.

Die Duroia petiolaris Hook. fil. ist, wie wir zu sagen pflegen, eine gute Art. Sie unterscheidet sich schon bei oberflächlicher Betrachtung durch die auch im jugendlichen Zustande glatten Axen, durch viel festere, fast lederartige und sehr langgestielte Blätter, durch einen gestutzten, nicht in lange pfriemförmige Zipfel auslaufenden Kelch, durch abweichend geformte Blumenblätter u. s. w. Wenn nun auch die weiblichen Blüthen nicht vorliegen, so stimme ich doch, da die übrigen Merkmale, in Sonderheit die Beschaffenheit der Stipeln und deren Drüsen, ferner die Frucht vollkommen der einer Duroia entsprechen, der Annahme von Hooker fil. bei, dass sie in diese Gattung gehört. Das Auftreten von Ameisen beherbergenden Blasen könnte ein weiteres befestigendes Moment für diese Annahme sein. Es war natürlich von Interesse, auch die übrigen sechs mir bekannten Arten nach der gleichen Rücksicht zu prüfen, zwei andere noch von Spruce gesammelte, D. pallens Hock. fil. und D. oocarpa Hook. fil. waren mir leider nicht zugänglich. Die eine Art D. saccifera Hook. fil. werde ich, weil sie zwar auch Anpassungen an Ameisen nicht verkennen lässt, aber doch ganz andere Verhältnisse darbietet, in einem folgenden Abschnitte besprechen. Die übrigen Arten waren fast alle in so fragmentarischen Zustande vorhanden, dass man sich ein Urtheil nicht erlauben kann; nur die typische Species Duroia eriopila Linn. fil. fand ich in vollständigen Exemplaren vor. An ihr konnte ich aber keine Andeutungen wahrnehmen, welche auf analoge Verhältnisse, wie sie D. petiolaris Hook. fil. und D. hirsuta m. bieten, schliessen lassen.

II. Die Morphologie der Axenschläuche von Duroia und anderer Ameisenpflanzen.

Die nächste Aufgabe, die ich mir gestellt habe, ist, die Schläuche von Duroia mit denen anderer Ameisenpflanzen, welche eine Parallele gestatten, vergleichend zu besprechen. Eine zweifellose Analogie, was die morphologische Bedeutung angeht, bietet Clerodendron fistulosum Beccari. In beiden Fällen sehen wir schlauchartige Auftreibungen der Axe, denen unter mehr oder weniger auffallender Verjüngung abschliessende Krönungen durch solide Axenglieder, die noch mit Blattpaaren in verschiedener Zahl und ausserdem mit einem Blüthenstande geziert sind, folgen. Wenn Beccari mit Recht darauf hinweist, dass in den Einrichtungen des Clerodendron fistulosum ein ausserordentlich interessanter Fall von Anpassung vorliegt, so kann man dieser Meinung nur beistimmen, unbeschadet dessen, dass Schimper die Unrichtigkeit der Annahme einer spontanen Durchbohrung der eigenthümlichen Zugangshörner nachgewiesen hat. Gerade auf dieses Moment hatte Beccari die vierte höchste Kategorie von Ameisenwohnstätten gegründet. Er schreibt[1]: „Infatti negli Endospermum le formiche dovrebbero andare a tentoni per trovare il luogo adatto per potere penetrare nella cavitá (porchè non tutto il ramo è vuoto), nell' Acacia cornigera devono andare a caso nello scegliere il posto da perforare, ma non sicure che una volta fatto il lavoro si trovano in casa; nella Cecropia vanno al sicuro anche per il luogo che devono scegliere da perforare, perchè tal punto è prestabilito ed il tessuto vi è più sottile che altrove; nel Clerodendron fistulosum infine, trovano gli appartamenti allestiti senza bisogno nemmeno di aprire le porte."

Die letzte, von ihm also als entwickeltste Anpassungsform betrachtete Stufe ist durch Schimper's Beobachtung[2]) beseitigt. Wenn nun auch nicht vollkommen dieser entsprechend, so doch nahe an sie herantretend, ist der Fall von Duroia hirsuta m. Alle in die Section Syphonanthus gehörige Arten der Gattung Clerodendron,

1) Beccari Malesia II, 50.

2) A. F. W. Schimper, Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen und Ameisen, 52. Note.

wie auch andere üppig wachsende halbstrauchige oder krautige Formen haben einen dicken hohlen Stengel. Es ist also keine Abnormität für die ganze Gruppe, wenn Clerodendron fistulosum Becc., das in diese Section zählt, auch solche Internodien besitzt. Da nun diese Pflanze unterhalb der Blätter hornartige Excrescenzen mit besonders präformirten, durch leicht zu perforirende Gewebeplatten verschlossene Eingangsstellen hat, so reiht sie sich unmittelbar der vorhergehenden Kategorie, dem Cecropiatypus an. Dieser muss aber in zwei Unterabtheilungen gegliedert werden, entweder liegt die Zugangsöffnung über dem nächstvorhergehenden Blatte (Cecropia), oder er befindet sich unter dem nächstfolgenden Blatte (Clerodendron fistulosum Becc.). Während sie also bei jener in einem gewissen Zusammenhange steht mit der Rinne der Axillarknospe, ist ein solcher bei dieser nicht nachweisbar.

Bei der Gattung Duroia ist die Anpassung an Ameisen ohne Zweifel weiter entwickelt, vorausgesetzt, dass meine Mittheilungen mit der Natur übereinstimmen. Hier haben wir keine hohlaxigen Körper im normalen Zustande vor uns. So lange die Pflanze sich vegetativ entwickelt, hat sie solide Axenglieder, die in ungefähr äquidistanten Strecken mit decussirten Blattpaaren besetzt sind. Plötzlich tritt in den floralen Zweigen ein ganz anderer Modus auf. Die Internodien werden verschieden lang, die obersten, welche endlich in die Blüthenstände auslaufen, sind gekürzt, nur das unterste ist ausserordentlich verlängert und dieses entwickelt gegen alle Erfahrungen, die sonst in der Pflanzenwelt bis jetzt bekannt (Cordia nodosa, die von ähnlichen Gesichtspunkten aus betrachtet werden könnte, übergehe ich vorläufig aus unten auseinanderzusetzenden Gründen), am Ende einen blasenförmigen Hohlraum, der notorisch den Ameisen als Wohnstätte dient. Es würde die Skepsis zu weit getrieben heissen, wenn man hierin keine Anpassung an Ameisen vermuthen sollte, zumal man dieselbe für Clerodendron anstandslos zugiebt, obschon Beccari keine reichlichere Bevölkerung mit diesen Thierchen darin vorfand.

Dass aber der Duroiatypus in der That eine Annäherung an die von Beccari hypothetisch angenommene Kathegorie aufweist, geht daraus hervor, dass meiner Meinung nach wenigstens gewiss eine Oeffnung des Schlauches durch die Auslösung einer äquatorialen

Gewebespannung herbeigeführt wird. Diese Spalten entsprechen allerdings nicht durchaus den Bedürfnissen der Thierchen, denn sie graben sich im Verlaufe des Schlitzes regelmässig eine oder mehrere besondere Zugänge. Aber thatsächlich ist doch die Oeffnung vorhanden und, wie ich meine, spontan entstanden.

Aus diesen Gründen, denke ich, stellt der Duroiatypus von allen bis jetzt bekannten Ameisenpflanzen, bei denen axile Schläuche wahrgenommen werden (der unter der vierten Kategorie aufgezählte Fall von Acacia cornigera Jacq. wäre wohl von dieser Rubrik besser auszuschliessen), die höchste Entwickelungsphase dar, was die Wohnstätten allein anbetrifft. Hinsichtlich der Nahrungsversorgung ist aber ohne Zweifel Cecropia weiter vorgeschritten.

Clerodendron fistulosum Becc. ist ein Bürger der ostasiatischen Inselflur. Es liegen aber auch aus der neuen Welt Pflanzen vor, die bei der ersten Betrachtung wenigstens einen gewissen Grad der Uebereinstimmung mit Duroia nicht verkennen lassen, ja bei denen ich geneigt sein möchte, eine noch weitgehendere Aehnlichkeit als bei Clerodendron zu sehen. Es sind gewisse Arten der Gattung Cordia. Der Typus dieser Ameisenpflanzen, das Gewächs, welches am längsten aus der Gattung nach dieser Richtung bekannt ist und das neuerdings von A. F. W. Schimper eine eingehende Untersuchung erfahren hat, ist die Cordia nodosa Lam. Die Thatsache, dass die Ameisen in einer gewissen engeren Beziehung zu der Pflanze stehen, wird schon durch den Trivialnamen in der Brasilianischen Provinz Pará angedeutet. Sieber, welcher im Auftrage des Grafen Hoffmannsegge diese Gegend bereiste, theilt uns mit, dass der Strauch dort Pao de Formige genannt wird. Graf Hoffmannsegge wusste nicht, dass die interessante Pflanze bereits bekannt sei und belegte dieselbe nach dieser Eigenthümlichkeit mit dem Namen: C. formicarum Hoffmegge[1]). Die Pflanze findet sich in der Gegend von Pernambuco, Pará und weiter nördlich in allen Theilen von Cayenne. Ob die aus Mexico nur nach einer Abbildung bekannte Pflanze, welche De Candolle im Prodromus unter derselben Art begreift, hierher gehört, ist mir nicht gewiss. Eine

1) Ob der Tupi-Name Achira-Mourou einen ähnlichen Sinn ausdrückt, kann ich leider nicht angeben.

andere, blasige Auftreibungen besitzende Species, die ich unten erwähnen werde, ist dagegen aus Mittelamerika bekannt, vielleicht liegt eine Verwechslung mit dieser vor.

Auch darüber, inwiefern sich die beiden anderen in der Section Physoclada befindlichen Arten C. miranda DC. und hispidissima DC. von C. nodosa Lam. unterscheiden, steht mir ein Urtheil nicht zu, da mir die Salzmann'schen und Blanchet'schen Originalien leider nicht zugänglich sind. Von der letzteren sagt De Candolle, dass sie der C. nitida W. ähnlich sei. Ich kann eine solche Art im Prodromus nur im Anhange unter den von De Candolle nicht gesehenen Formen finden; möglicherweise ist der Name verdruckt und es soll statt dessen C. nodosa heissen. Dann wäre meine Vermuthung vielleicht nicht unbegründet, dass wenigstens C. hispidissima DC. mit C. nodosa Lam. identisch wäre und nur eine behaartere Form darstellt. Die Diagnose lässt keinen sichern Gegensatz erkennen, Merkmale, die in der einen Art (wie der Kelch) herangezogen sind, bleiben in der zweiten vernachlässigt. Da ich nun auch bei anderen Gruppen gefunden habe, dass man ziemlich leicht wiegende Charaktere als Trennungsmerkmale von Arten benutzt hat, würde mich eine solche Erfahrung nicht überraschen. Uebrigens spricht die geographische Verbreitung sowohl wie die Variabilität in der Behaarung von C. nodosa Lam. ebenfalls zu Gunsten einer solchen Annahme.

Das Aussehen der Pflanze ist von Schimper[1]) in wenigen Worten so treffend geschildert, dass ich sie hier wiedergeben will: „Cordia nodosa Lam. stellt einen kleinen Strauch dar. Die sehr grossen und, wie die Stengel, mit langen rothen Borstenhaaren versehenen Blätter sind theils gegenständig, theils alternirend, theils zu viergliedrigen Scheinwirteln vereinigt. Aus den Scheinwirteln, und nur aus diesen, entwickeln sich die vegetativen und die fertilen Seitenaxen; da diese in Mehrzahl vorhanden, so bildet das Ganze

1) Schimper, Wechselbeziehungen 54. Die Exemplare lagen mir, so weit sie im Besitze Schenck's waren, der im Verein mit Schimper die Pflanze sammelte, vor. Sie stammen aus der Gegend von Pernambuco und weichen in der sehr starken Behaarung von den typischen Pflanzen ab, wahrscheinlich gehören sie zu der Cordia hispidissima DC.



eine Art Strauss, der der Pflanze ein sehr merkwürdiges Aussehen verleiht. Die Axe ist dicht unter dem Scheinwirtel stets stark verdickt und kantig und häufig, aber nicht immer, mit einer länglichen blasenartigen Anschwellung versehen, die nach oben in einen Blattstiel übergeht."

Vergleicht man diese Beschreibung mit derjenigen, welche ich von Duroia hirsuta m. gegeben habe, so wird man eine gewisse Uebereinstimmung nicht verkennen. Auch bei Cordia nodosa Lam. sind die rein vegetativen Theile des Pflanzenstockes mit den locker gestellten Blättern von den floralen mit ihren verkürzten Internodien durchaus verschieden. Bei beiden Pflanzen befinden sich die blasenähnlichen Schläuche unterhalb der Blattbüschel, auch die Form derselben hat einige Berührungspunkte.

Neben den gemeinschaftlichen Merkmalen giebt es aber auch erhebliche Differenzen. Dass die Blätter bei Duroia regelmässig decussirt stehen, kann nicht wesentlich in Betracht kommen, diese Anordnung bildet, man kann fast sagen ausnahmslos einen Familiencharakter der Rubiaceen. Erheblicher ist schon der Umstand, dass die Internodien der terminalen Endigung am blasentragenden Zweige bei Duroia zwar verkürzt, aber doch immerhin noch deutlich erkennbar bleiben, während sie bei Cordia nodosa Lam. völlig verschwunden sind, so dass Blätter und Blüthenstandszweige neben einander auf dem gewölbten Scheitel der Blase sitzen. Ein dritter Factor, welcher als wesentliche Differenz hervorgehoben werden muss, ist die Lage der Zugangspforte in das Innere des Hohlkörpers. Duroia hirsuta m. zeigt dieselbe ausnahmslos auf den Flanken des Schlauches, bei Cordia nodosa Lam. finden wir sie auf dem Scheiteltheile zwar nicht genau an der apicalen Stelle, sondern etwas seitlich, aber doch nahe an derselben.

Ob diese Oeffnung von vornherein vorhanden ist, oder ob der Hohlkörper zuerst, wie der von Duroia hirsuta höchst wahrscheinlich, ein ringsum geschlossenes Gebilde darstellt, das erst später geöffnet wird, ist mir aus dem Studium der Schimper'schen Arbeit nicht ganz klar geworden. Aus der sogleich zu gebenden Vorstellung über die morphologische Bedeutung des Schlauches scheint mir aber die erstere Meinung hervorzuleuchten.

Schimper sagt[1]): „Das stets stark verdickte Axengebilde, aus welchem die viergliedrigen Scheinwirtel entspringen, besteht aus mehreren verwachsenen Blattstielen und Aesten. Dasjenige Blatt, welches oberhalb der Blase liegt, wenn eine solche vorhanden, ist das unterste; oberhalb desselben trägt die Hauptaxe zwei gegenständige Blätter, die in ihren Achseln zwei Seitenäste erzeugen; die Blattstiele dieser drei Blätter sind mit ihren entsprechenden Achselproducten und der Hauptaxe völlig verwachsen und bilden das verdickte kantige Gebilde; das vierte Blatt des Scheinwirtels entsteht am Gipfel des letzteren aus der Hauptaxe. Die Axengebilde, die sich oberhalb des Scheinwirtels erheben, sind die Hauptaxe und die vielfach Inflorescenzen darstellenden Seitenaxen aus dem zweiten, dritten und vierten Blatte."

„Die Verwachsungsverhältnisse sind die gleichen, ob eine Blase vorhanden ist oder nicht. Letztere kommt durch scheidenförmige Ausbildung der Stielbasis des ersten Blattes zu Stande und scheint an Scheinwirteln, die mit Inflorescenzen versehen sind, nie zu fehlen; . . . . die Scheide ist mit Ausnahme der kleinen Oeffnung an der Spitze, die den Ameisen als Thür dient, aber nicht von denselben herrührt, dem Stengel ganz angewachsen."

Hauptsächlich der letzte Satz lässt doch wohl der Vermuthung Raum, dass sich Schimper die Blase, noch ehe sie von Ameisen bewohnt wird, als ein amphorenartiges Gebilde denkt. Es ist aber zu bedauern, dass der sorgfältige Forscher nicht im Stande gewesen ist, die Entwickelungsgeschichte der Blase mitzutheilen, dann würde ohne Zweifel jede Unsicherheit über die morphologische Bedeutung des Gebildes gehoben worden sein. Wie er, habe auch ich niemals Inflorescenzaggregate gefunden, die der Blase entbehrten; solche Zweige hätten für die comparative Betrachtung des fraglichen Körpers nicht ohne Nutzen sein können, weil dann wahrscheinlich der Untersuchung, ob in diesem Falle sich das unterste Blatt des Scheinwirtels scheidenförmig im Blattstiele modificirte, ein Vorschub geleistet worden wäre.

---

1) Schimper, l. c. 55; ich habe die Buchstaben im Texte, welche auf eine hier nicht mitgetheilte Figur Bezug nehmen, weggelassen und demgemäss den Wortlaut etwas geändert. In jener Zeichnung muss man übrigens, meiner Meinung nach, an Stelle von α den Buchstaben δ setzen.



Eine definitive Entscheidung über die Billigung oder Ablehnung der Schimper'schen Deutung ist für Cordia nodosa Lam. so lange unthunlich, als die Entstehung der Zugangsöffnung nicht klar gelegt worden ist. Ich kann aber nach den Erfahrungen, welche ich an Duroia hirsuta m. gemacht habe, nicht umhin, einige Bedenken dagegen zu erheben. Man wird nicht leugnen können, dass die Hypothese Schimper's etwas künstlich ist. Wäre wirklich eine Verwachsung von Blattstielen unter sich und mit der Axe (natürlich phylogenetisch gedacht) eingetreten, so müsste man doch erwarten, dass die Petioli der Blätter, welche die Blase krönen, eine merkbare Verkürzung zeigten, dies ist aber keineswegs der Fall; sie haben genau die relative Länge wie die der übrigen alternirend oder gegenüberstehenden Blätter am vegetativen Theile des Zweiges. Ausserdem entspricht die Länge der letzteren keineswegs der Ausdehnung der Blase in der centralen Axe gemessen. Nicht weniger abnorm erscheint mir der Umstand, dass von vier Blättern eines Scheinquirles nur das erste „eine scheidenförmige Erweiterung der Stielbasis" aufweisen soll, zumal bei sämmtlichen Cordiaceen Andeutungen von einer Scheide am Petiolus vermisst werden. Auch die anatomische Beschaffenheit der Blase scheint mir nicht dafür zu sprechen, weder die starke Abplattung des Centralcylinders der Axe, noch die Epidermis auf der Innenseite des Schlauches sind für mich Momente, welche zu Gunsten der Hypothese sprechen. Die erste scheint mir nur eine Folge der veränderten Function des Stengeltheiles zu sein, die aus mechanischen Rücksichten zu erklären ist, und was die Epidermis anbetrifft, so findet sie sich auch an der Innenseite der Duroiaschläuche, welche doch entschieden nicht eine ähnliche morphologische Deutung erfahren können. Würde nachgewiesen, dass bei Cordia nodosa Lam. der Schlauch in früheren Stadien ringsum geschlossen ist, so würde man, glaube ich, kaum Anstand nehmen, diesen Fall vollständig mit dem Duroiatypus zusammenzubringen. So lange die Entwickelungsgeschichte oder passende Vergleichsobjecte nicht bekannt sind, muss die Sache auf sich beruhen.

Bei einer anderen Cordia-Art dagegen ist es mir gelungen, diese Parallelisirung zu vollziehen. Ich denke, es ist zuerst Beccari[1])

---

1) Beccari Malesia II, 283.

gewesen, welcher darauf aufmerksam machte, dass auch Cordia gerascanthos Jacq. blasige Auftreibungen unter den Blüthenständen besitzt, die gelegentlich von Ameisen bewohnt werden. Die Bestimmung der Art scheint ihm einige Schwierigkeiten gemacht zu haben, und das war für mich Veranlassung, zunächst der Frage, welche Objecte mir eigentlich vorlagen, näher zu treten: denn darüber kann kaum eine Meinungsverschiedenheit sein, dass jeder irgendwie wissenschaftlich behandelte Körper vor allen Dingen richtig bestimmt sein muss.

In der Section Gerascanthos finden sich in De Candolle's Prodromus 13 Arten registrirt. Von diesen sind meiner Meinung nach zwei von vornherein zu streichen. C. Sprengelii DC. wie C. dubiosa Bl. sind Arten der östlichen Halbkugel: jene, die ich untersuchen konnte, gehört bestimmt nicht in die Gruppe; diese eine, wie der Name sagt, ganz zweifelhafte Pflanze scheint kaum der Gattung nach sicher festgestellt. Miquel, der sterile Zweige vor sich hatte, sieht sie für eine Cordia aus der Section Sebestenoides an. Von den übrig bleibenden 11 Arten ist die erste C. Martii A. DC. von allen anderen sehr gut unterschieden, freilich fällt sie mit C. insignis Cham., die in der dritten Section beschrieben worden ist, wie schon Fresenius[1]) nachgewiesen hat, zusammen. Somit haben wir in der Section noch 10 Formen. Von diesen habe ich folgende gesehen, mit einander verglichen, deren Blüthen analysirt und gemessen: C. tinifolia Willd., C. gerascanthos Jacq., C. alliodora Cham., C. excelsa A. DC., C. Chamissoana Steud., C. Cuyabensis Lhotzky und Manso. Ich war in der glücklichen Lage, von allen diesen Arten die Typen untersuchen zu können, welche De Candolle für seine Arbeit zur Verfügung gestanden haben und die namentlich nach dem Sammler und den Nummern aufgezählt sind. Als Resultat dieses wiederholten Studiums muss ich zunächst hervorheben, dass ich den Ansichten, welche Fresenius a. a. O. ausspricht, vollständig beistimme. C. alliodora Cham., C. excelsa A. DC. und C. Chamissoana Steud. sind in ihren Merkmalen besonders der Blattform, dem Indumente u. s. w. sehr variable Gestalten, so dass man wirklich wesentliche Unterschiede kaum nachweisen kann. Da nun

---

1) Fresenius, Cordiaceen in Flora Brasiliensis 3.

Fresenius auch C. hypoleuca A. DC. in die Gesellschaft jener drei oben genannten hineinzieht, so kann sie sicher auch von mir zu denjenigen Arten gezählt werden, die einander in so hohem Grade ähnlich sind. Ich gehe nun aber noch über Fresenius hinaus, indem ich einerseits diese Arten in eine zusammenfasse, und andererseits auch noch C. gerascanthos Jacq., C. tinifolia Willd. und C. Cuyabensis L. et M. damit vereine. Fresenius giebt zwar an, dass sich die letzte Art von allen anderen durch die kleineren Blüthen auszeichne und dadurch an C. gerascanthos Jacq. erinnere, von welcher sie nur durch die oben von ihm selbst als mangelhaft bezeichneten Merkmale der Blattgestalt abweicht. Ich will hier, um ein Bild über die Blüthenformen zu geben, die Mittelmaasse von Corollen, Stempeln und des besseren Vergleiches halber die Entfernung der Staubfädenspitzen von der Kelchbasis mittheilen:

	Corollenlänge	Staubfd.	Stempel
1. Cordia gerascanthos Jacq. von Schomburgk auf S. Domingo gesammelt	1,5 cm	1,5 cm	0,9 cm
2. Cordia alliodora Cham. typisch von Ruiz in Peru gesammelt	1,4 -	1,4 -	0,8 -
3. Cordia Cuyabensis L. et M. typisch von Cuyabá	1,7 -	1,3 -	1,1 -
4. Cordia Chamissoana Cham. aus Martius hb. fl. Brasil.	1,5 -	1,2 -	0,9 -
5. Dieselbe typisch von Sello gesammelt	1,7 -	1,4 -	1,4 -
6. Cordia alliodora Cham. var. β. tomentosa A. DC. typisch	1,6 -	1,1 -	1,5 -
7. Cordia excelsa A. DC. von Luschnath gesammelt typisch	1,9 -	1,9 -	1,1 -

Sieht man von der anerkannten Variabilität der Blattform und der Behaarung ab, von der die erstere sich auch noch in sehr geringen Grenzen bewegt; so bemerkt man, dass hier drei Blüthenformen, lang-, kurz- und mittelgriffliche Formen als verschiedene Arten beschrieben worden sind, wie dies früher oft genug geschehen ist. Daher denn die Klage, dass scheinbar durch die Gestalt und Längenverhältnisse der Blüthen so gut charakterisirte Arten sich so ausserordentlich schwer von einander halten lassen. Für mich sind alle die sieben oben erwähnten Species nur leichte Abwandlungen

einer einzigen, die nun nach der Grösse oder der mehr oder weniger starken Befilzung der Blätter benannt werden mögen. Ueber die drei noch in diese Gruppe gehörigen Pflanzen C. gerascanthoides H. B. K., C. bracteata A. DC. und C. glabrata vermag ich keine Auskunft zu geben.

Wie viele andere Cordien zeigt auch C. gerascanthos Jacq. eine Stauchung der Axe und Verkürzung der Internodien in der floralen Region. Durch dieselbe wird in dem gewöhnlichen Verhalten der Anordnung der blühenden Aeste nichts geändert, namentlich muss ich darauf aufmerksam machen, dass jeder Zweig in einen terminalen Blüthenstand ausläuft. Diese Thatsache ist von einiger Wichtigkeit, insofern als sie, was ich vorhin nicht erwähnen konnte, ein Licht auf die Stellung des gleichen Zweiges bei C. nodosa Lam. wirft. Schimper nimmt an, dass sämmtliche an dem Scheitel des Schlauches stehenden Infloreszenzen axillär seien; nach der eben mitgetheilten Erfahrung scheint mir diese Ansicht anfechtbar.

Ohne dass sich nun bei allen Exemplaren Schläuche entwickeln, ist doch, wohl nur durch diese dichte Zusammenstellung bedingt, der Theil der Axe, welcher sich unterhalb der terminalen Inflorescenz befindet, angeschwollen und umgekehrt konisch verdickt, meist dabei etwas abgeplattet. Bei anderen Zweigen finden sich wohl ausgebildete mehr oder weniger spindelförmige oder nach oben hin an Umfang zunehmende Schläuche. Hinsichtlich der geographischen Verbreitung der blasentragenden Individuen bemerkte ich, soweit meine Materialien reichten, eine ganz bestimmte Beschränkung. An keinem Objecte, das von den Antillen herrührte, waren dieselben vorhanden; sie fanden sich ausschliesslich auf den Pflanzen vom Continente. Dies gilt zunächst von den Peruanischen, dann aber auch von den Stücken, die Beccari erwähnt, welche beide nämlich aus Mexiko stammen.

Ein Zweig, welcher sich unter den Pflanzen vorfand, die Rob. Schomburgk auf S. Domingo gesammelt hatte, fiel mir dadurch auf, dass die Stelle, wo sich die Inflorescenzzweige versammelt hatten, besonders dick angeschwollen war. Ich wandte meine erhöhte Aufmerksamkeit auf ihn, betrachtete ihn genau von allen Seiten, um nach einer Oeffnung zu suchen, aber vergebens: es war keine Spur davon zu erkennen. Ich schnitt ihn auf und

fand ihn mit einer schwarzbraunen grumösen bröckeligen Masse locker angefüllt, welche mir den Eindruck von verrottetem Gewebe machte. Nachdem ich dasselbe entfernt, prüfte ich nochmals die Innenseite des Hohlraumes genau und konnte ebenfalls keinen Eingang erkennen. Es will mir scheinen, als ob dieses Vorkommen wohl einen Uebergang zwischen den zwar verdickten aber doch aus gleichmässigem und festem Holzgewebe aufgebauten Anschwellungen und den Blasen, die ich an den auf dem Continente wachsenden Exemplaren gesehen habe, darstellen könnte und als ob es eine Erklärung für die Entstehung der Hohlkörper an gewissen Exemplaren von C. gerascanthos geben könnte.

Die Stellen, wo sich die Eingänge in die Hohlräume, die sicher Ameisen beherbergen, wie ich aus den zurückgebliebenen Resten erkannte, befinden, sind bereits von Beccari[1]) an dem Holzschnitte, welcher seine Auseinandersetzungen über Cordia begleitet, mitgetheilt. Sie liegen (ich fand nur eine) an den Flanken des Gebildes. Ob die Ameisen sich durch die Wände ganz durcharbeiten müssen, um einen Zugang zu ihrer Wohnstätte zu gewinnen, oder ob ihnen durch eine ähnliche Aufspaltung, wie ich sie bei Duroia hirsuta m. erkannt zu haben glaube, eine Erleichterung geschaffen wird, kann ich nicht genau sagen. Mir erscheint das letztere wahrscheinlich, da auch hier der Porus in einem längeren Schlitze, der von wulstigen Wundrändern umgeben wird, liegt.

Die seitlich gestellte Oeffnung, oder wenn Beccari's Angabe, woran ich nicht zweifle, richtig ist, die an den Flanken befindlichen Zugangslöcher schliessen hier meines Erachtens nach die Möglichkeit einer morphologischen Deutung, wie sie Schimper für Cordia nodosa Lam. gegeben hat, unbedingt aus: denn ich kann mir nicht vorstellen, wie sie hier mit der Bildung von Blattscheiden in Bezug gesetzt werden dürfen. Um so mehr erinnert aber die ganze Anordnung der Zweig- und Blattorgane mit der Blase an das Vorkommen bei der Duroia hirsuta m. Es bleibt hier nur der schon oben erwähnte Unterschied, dass die über der Blase befindlichen Internodien, so weit verkürzt sind, dass sie nebst dem terminalen Blüthenstande alle auf dem verbreiterten Blasenscheitel Platz ge-

1) Beccari, Malesia II, 283.

nommen haben, eine Differenz, die mir zu unwesentlich erscheint, als dass ich darin bedeutende Verschiedenheit zu erkennen vermöchte.

In Schimper's Arbeit finde ich neben den bisher bekannten Ameisenpflanzen mit axilen Wohnstätten auf Grund von Beccari's Angaben auch Hirtella genannt. Ich habe alle diejenigen Exemplare, welche sich im Berliner Herbar vorfinden darauf hin genau angesehen; war aber leider nicht im Stande, Andeutungen wahrzunehmen, welche sich in dem Sinne erklären liessen. An keinem Stücke bemerkte ich Höhlungen oder blasenartige Auftreibungen, sodass ich, ohne an der Beccari'schen Beobachtung zweifeln zu wollen, für die südbrasilianischen Arten, die bei uns besonders reichlich vertreten sind, keine Bestätigung beibringen kann.

Leider konnte ich auch die Einrichtung der Ameisenwohnungen bei Tachia Guyanensis Aubl., die bereits von dem Autor als im Stamme und den Aesten befindlich angezeigt werden, nicht prüfen. Mir lagen zwar einige Zweige vor, aber diese waren offenbar noch zu jung, um bereits als Hohlräume für die Beherbergung dieser Thierchen zu dienen.

Um so interessanter war es mir, eine neue und eine nur wenig gekannte Ameisenpflanze mit axilen Wohnstätten noch untersuchen zu können. Die erste ist eine Art der Gattung Cuviera, welche ich für neu erklären muss nach den Materialien, die ich bis jetzt vergleichen konnte; ich nenne sie C. physinodes. Bei ihr liegt die blasenartige Stengelerweiterung im Gegensatz zu dem Verhältnisse von Cordia nodosa oberhalb der zunächst gelegenen Inflorescenz, also nicht am oberen, sondern am unteren Ende des Internodiums.

Cuviera physinodes n. sp.[1]) ist eine Rubiacee, die Soyaux mit nahezu entwickelten Blüthen (n. 29) und in Früchten (n. 307) am Gabon bei der Sibange-Farm gesammelt hat. Sie stellt einen 3 m hohen baumähnlichen Strauch mit grossen lederartigen Blättern dar. Die reichblüthigen kurzen verzweigten Cymen stehen axillär; nur wenige der grünlich weissen Blüthen erzeugen Früchte, obgleich alle wohlausgebildete Ovarien zu besitzen scheinen. Die grau berindeten

1) Foliis amplis (20—30 cm longis, 7,5—11 cm latis) robuste petiolatis ovato-oblongis vel oblongis breviter et obtuse acuminatis basi aequilateris coriaceis utrinque glabris; ovario 5-loculari; stigmate glabro; bacca oblonga (3 cm longa c. 1 cm diam.) apice acuta basi acuminata, ecostata.

stielrunden Internodien schwellen regelmässig am oberen Ende an: dort entwickeln sich aber keine Blasen; diese liegen vielmehr oberhalb des Knotens, dem sie unmittelbar aufsitzen. Ein Unterschied in der Länge der Internodien ist nicht vorhanden, auch konnte ich die Schläuche nicht an allen wahrnehmen. Der eine gut erhaltene Hohlkörper ist 3,5 cm lang und hält an der breitesten etwa in der Mitte gelegenen Stelle ca. 1 cm im Durchmesser, die Wandstärke beträgt etwa 1,5 mm. Er ist ungefähr spindelförmig und reicht mit dem Basaltheil noch ein wenig in das nächste Internodium hinein, insofern als man auf dem Längsschnitte den Grund der Blase unterhalb der Ansatzstelle der Stipularscheide findet. Die Innenwand ist matt und ein wenig rauh. An diesem Schlauche zählte ich drei Oeffnungen, welche eine directe Verbindung mit dem Innern herstellten. Zwei von diesen waren ausserordentlich eng, so dass der ca. 1 mm lange Spalt kaum $^1/_2$ mm breit war. Die dritte dagegen war 2 mm lang und $1^1/_2$ mm breit; sie schien nur noch als Zugangspforte benutzt zu werden. Ausserdem sah ich noch 2 überwallte Stellen, von denen die eine ganz den Eindruck machte als ob ein Naturheilungsprocess eine vorher bestehende Pforte geschlossen hätte.

In dem Detritus, welcher auf dem Grunde des Schlauches vorhanden war, konnte ich das Abdomen einer Ameise und das Bein einer solchen erkennen. Herr Dr. Schinz, welcher mich auf die eigenthümliche Bildung aufmerksam zu machen die Güte hatte, indem er richtig zuerst erkannte, dass hier wohl eine Ameisenpflanze vorliegen könnte, fand in einem ihm gehörigen Exemplare ein ziemlich grosses schwarzes Insekt dieser Familie. Ich nehme hier Gelegenheit, dem Entdecker für die freundliche Mittheilung, meinen Dank abzustatten.

Ich will mich damit begnügen den Sachverhalt, wie ich ihn an Cuviera physinodes m. aufnahm, darzustellen. Weitere Vermuthungen über die Entstehung der Oeffnungen daran anzuknüpfen, muss ich mich enthalten, da die Materialien gar zu spärlich sind und die Poren mit ihrer Umgebung zu wenig feste Anhaltspunkte für eine Erklärung gewähren. Es soll nur darauf hingewiesen werden, dass hier, nach Analogieen zu schliessen, eine Ameisenpflanze vorliegen dürfte, die weiteren Untersuchungen lohnende Resultate verspricht.

Sie ist verschieden von den bisher bekannten dadurch, dass die Blase dicht über dem Knoten liegt. Wenn wir nun dem Gedanken eine gewisse Berechtigung nicht absprechen können, dass diese Pflanzen bewohnenden Ameisen hauptsächlich als Beschützer der Blüthen functioniren, so wäre auch diese Localität nicht unzweckmässig als Wohnstätte für die Wächter gewählt.

Einige genauere Beobachtungen konnte ich an einer Lauracee machen. Mez[1]) hat zuerst die Thatsache veröffentlicht, dass sich „die Gattung Pleurothyrium, wie Cecropia peltata, in ihren Stammhöhlungen eine eigene Schutztruppe bissiger Ameisen herbeigezogen hat". Er hat diese Beobachtung einem von Poeppig beschriebenen Zettel entnommen, der angiebt „in ramis re vera fistulosis degunt formicarum agmina pessime pungentia". Wenn ich nicht irre, gehört diese Etiquette zu Pl. Poeppigii Nees. Diese konnte ich nicht untersuchen, wohl aber P. macranthum Nees, von der eine aufgeschnittene Infloresccnz im Berliner Herbar aufbewahrt wird.

Die Spindeln der sehr reichblüthigen stattlichen Inflorescenzen dieser Pflanze sind wohl 20 und mehr Centimeter lang und ungewöhnlich dick im Verhältniss zur vegetativen Tragaxe. Sie sind aussen (Fig. 3) mit flachen Längsfurchen versehen, die in regelmässiger Beziehung zu den Seitenzweigen stehen, indem über jedem derselben eine flache Furche bis zum nächst höheren über ihm stehenden verläuft. Der Querschnitt der Inflorescenzen scheint keine ganz regelmässige Figur zu ergeben; bei den getrockneten Exemplaren ist die Spindel stark zusammengedrückt. Das kommt daher, dass sie im Innern gegen die Norm bei den Lauracen, soweit mir bekannt ist, hohl sind. In die Spindelräume führen zahlreiche kreisförmige etwa 1 mm im Durchmesser haltende Oeffnungen. Die Lage derselben ist nicht regellos, sondern scheint mir gesetzmässig. Sie befinden sich immer in der Riefe, welche oberhalb eines Inflorescenszweiges angetroffen wird, in mässiger Entfernung von dem Aste selbst. Sie treten ohne Ausnahme auf in etwa 6—10 mm langen von zwei flachen Kreisbögen umschriebene Stellen, deren Ränder, wie bei Duroia hirsuta m. mit Wundwülsten bekleidet sind. Auch diese Stellen rufen

1) Mez, Morphologische Studien über die Familie der Lauraceen. Dissertation. Berlin 1888, p. 31.

ganz den Eindruck hervor, als ob sie durch spontanes Aufspalten der Schlauchwand entstanden seien und als ob durch die Callusbildung und das später entstehende Wundholz wieder ein Verschluss der Kluft angestrebt würde. Ich wurde um so mehr in meiner Vermuthung bestärkt, als es mir gelang sehr kurze 5 mm lange Sprünge (Fig. 3b) zu finden, die zwar trotz der Wundränder offen geblieben waren, aber keine Spur einer bohrenden Thätigkeit von Ameisen erkennen liessen.

Obgleich ich emsig danach suchte, um die Anwesenheit extranuptialer Nektarien oder anderer Vorkehrungen zu constatiren, durch welche den Gästen Nahrungsmittel gespendet werden; so konnte ich doch an den vorliegenden Exemplaren nichts derart nachweisen. Da nun, wie ich oben auseinandersetzte ohne Zweifel solche Einrichtungen vorhanden sein müssen, so bleibt die Ermittlung derselben eine Aufgabe für spätere Forscher, welche an Ort und Stelle die Pflanzen prüfen können. Ob vielleicht hier die nuptialen reichlich secernierenden Staminaldrüsen in dieser Weise thätig sind, könnte wohl untersucht werden, eine Meinung, die auch von Mez in einem Vortrage über Pleurothyrium geäussert wurde. Dass man in den axilen Schläuchen von Duroia, Cordia gerascanthus, Pleurothyrium und endlich auch wohl von Cuviera physinodes m. eine Anpassung an Ameisen vermuthen kann, ist wohl nicht ohne Berechtigung. Einmal ist die ganz und gar abnorme Entwicklung eines Hohlraumes an fest bestimmten Stellen sonst solider Axenglieder eine merkwürdige Erscheinung, der man doch eine gewisse Bedeutung zuschreiben muss. Dass die Hohlkörper sicher in allen Fällen von Ameisen bewohnt werden, beweisen die darin gefundenen zahlreichen gefangenen wohl erhaltener Thierchen und die in dem Detritus nachweisbaren Reste. Erhöht wird die Wahrscheinlichkeit einer solchen Function der Schläuche durch den Umstand, dass höchst wahrscheinlich spontane Oeffnungen den Weg in dieselbe vorbereiten. Hätte ich diese Thatsache nur an einer Pflanze nachweisen können, so würde ich wenig Gewicht darauf gelegt haben. Indem ich aber bei Duroia hirsuta m. Schläuche fand, die zwar gespalten aber, wie man aus dem lückenlosen Zusammenhange der Wundränder ersah, nicht von Ameisen weiter beeinflusst worden waren und indem ich an Pleurothyrium Poeppigii Nees sehr kurze und enge Spalten nach-

weisen konnte, die ebenfalls keine Zugangspforte boten und indem ich bei D. petiolaris Hook. fil. den Verschluss durch Ueberwallung beobachtete, der durch reihenweis gelagerte Pforten durchbrochen war, so wird mir durch diese Abwandlungen einer und derselben Erscheinung die Vermuthung in ihrer Berechtigung noch bekräftigt. In allen Fällen habe ich einen engen Zusammenhang zwischen der Lage der Schläuche und der Insertion der Inflorescenzen betont und so wird durch diese neuen Ameisenpflanzen, der Idee, welche Schimper[1]) ausgesprochen hat, dass die Ameisen eine Schutzwache für die Blüthen sein könnten, eine vielleicht nicht unwichtige Bestätigung verliehen.

III. Die Blattschläuche von Duroia saccifera Hook. fil.

Mit diesen beiden Fällen von Duroia hirsuta m. und D. petiolaris Hook. fil., ist es mir in dieser Gattung gelungen, noch eine andere Art der Ameisenbeherbergung nachzuweisen; während sich die erste an die Typen von Clerodendron fistulosum Becc. und Cordia gerascanthus Jacq. anlehnten, tritt die zweite denjenigen Formen näher, welche ich als Tococatypus bezeichnen möchte und die bei einigen Melastomataceengattungen vorkommt.

Die Duroia saccifera Hook. fil.) ist von Martius[2]) unter dem Namen Amajoua saccifera an dem unten angegebenen Orte in ausführlichster Weise beschrieben worden. Sie wurde nicht blos von Martius sondern später auch von Spruce bei Manaos gesammelt und scheint nach einem weiteren Exemplare des letzt erwähnten Sammlers in Nord-Brasilien auch sonst noch vorzukommen. Sie ist ein niederes Bäumchen mit ansehnlich grossen bis über 30 cm langen und 15 cm breiten kurzgestielten Blättern, die in Wirteln zu je 3 an den Zweigchen befestigt sind.

Die Consistenz wie die Behaarung durch steife kräftige an der Basis verdickte fast fuchsrothe Trichome giebt derselben eine gewisse Aehnlichkeit mit denen von Cordia nodosa Lam. Die Axe wird an den mir vorliegenden Exemplaren durch eine männliche Inflorescenz,

1) A. F. W. Schimper, Wechselbeziehungen 56.

2) Amajoua saccifera, Martius in Roemer und Schultes Systema VI, 609, Dc. Prodr. IV, 369.

die bald dicht gedrängt fast kopfig, bald lockerer dreispaltig-cymös ist, oder durch eine einzige weibliche Blüthe, wie aus den vorhandenen Früchten erkannt wird, abgeschlossen. Der männliche Blüthenstand, wird von den sehr grossen aussen behaarten innen bis auf den drüsigen und haarigen Grund glatten Stipeln der obersten Blätter vollkommen umhüllt. Bei der Anthese spaltet der diese Umhüllung bewirkende Conus auf und wird abgeworfen, wobei aber die drüsige Basis gerade so stehen bleibt, wie ich dies von Duroia hirsuta m. nachweisen konnte.

Am Grunde der Blattspreite dieser Pflanze sieht man zunächst auf beiden Seiten des Mittelnerven Fig. 4, 5 und 6) eine nach rückwärts gehende Falte und dann folgen zwei Blasen, welche Martius in seiner schönen Beschreibung bezeichnend mit dem Terminus „scrotiformes“ belegt. Sie stehen mit einander nicht in Verbindung. Ihre Länge beträgt gewöhnlich 1 cm doch habe ich auch solche von 1.7 cm Ausdehnung gemessen, die grösste Breite beider zusammengenommen schwankt zwischen denselben Dimensionen. Wie ich schon erwähnte, befinden sie sich am Grunde der Lamina; sie ziehen sich am Blattstiele hin, dem sie meist auf seiner ganzen Längenausdehnung angewachsen sind, nur zuweilen ist ein kurzes basales Stück (Fig. 5) desselben davon frei. Sie ragen mit dem oberen Ende ein wenig über den Blattgrund (Fig. 4) hinaus, indem sie sich der Einfaltung folgend auf eine kurze Strecke unter die Fläche des Blattes schieben (Fig. 6). Auf der Blattoberseite (Fig. 5) sind sie etwas abgeplattet und beide Blasen liegen hier mit dem Blattstiele in einer Ebene. Die Unterseite der Blasen dagegen ist hoch gewölbt (Fig. 4), so dass die beiden Hohlkörper durch eine tiefe Furche von einander getrennt werden.

Die Substanz, aus welcher sie sich aufbauen ist ziemlich fest: denn trotzdem, dass die Wände kaum 1/3 mm dick sind, schrumpfen sie weder beim Pressen, noch fallen sie zusammen, noch wird ihre Gestalt durch den auf sie ausgeübten Druck wesentlich verändert. Ihre Oberfläche ist wie die des Blattes nur mit etwas kürzeren Haaren ziemlich dicht besetzt und mit einem längs verlaufenden oder gitterförmigen vorspringenden Adernetze geziert. Im Innern sind sie glatt und glänzend und von der Reliefbeschaffenheit, die wir bullat zu nennen pflegen.

Trotzdem dass der Eingang in die Blasen unterhalb der Blattfläche liegt, befindet er sich doch auf der morphologischen Blattoberseite. Er wird nämlich am innersten Grunde (Fig. 5 und 6a) der von mir Eingangs erwähnten Spreitenfalte gesehen. Wäre die Anordnung des ganzen Apparates dieselbe, welche ich geschildert habe, wäre aber diese Falte nicht vorhanden, so läge offenbar desswegen eine Mangelhaftigkeit der Einrichtung vor, als der Regen in die Oeffnung freien Zutritt haben würde. Durch die Einfaltung ist dieser Uebelstand beseitigt, denn nun bildet die sich über den Blaseneingang schiebende Spreite ein Dach gegen das Eindringen der atmosphärischen Niederschläge. In einzelnen Fällen war die gekrümmte Stirnwand, welche die obere Decke der Pforte bildet, durchbrochen; ich weiss nicht ob dies zufällig ist, oder ob man dieser Thatsache eine grössere Bedeutung beimessen soll.

Was nun die morphologische Deutung dieser Blasen angeht, so hat schon Martius versucht, eine solche zu geben, wenigstens kann ich die folgenden Worte nicht anders verstehen: sacci..... subtus convexi supra plani basi incrassati....., reflectitur uterque margo folii versus nervum medium cum eodem concrescens volvitur dein iterum extus petiolum ambiens et in pagina superiore folii iterum cum petiolo coalescit, ita ut inde sacculi formentur 2 inflati apice intus rima obliqua aperti ovati obtusi etc. Bei vielen Versuchen morphologischer Interpretationen gewisser sonst nicht häufig vorkommender Organe und so auch hier wird nur eine Umschreibung des ganzen Verhältnisses unter Voraussetzung der Verwachsungstheorie mitgetheilt. Gerade so wie mir nicht einleuchten will, dass etwa das Blatt von Empetrum mit seinem centralen Hohlraume dadurch entstanden sein soll, dass sich die Ränder nach rückwärts umgeschlagen haben, oder wie man etwa meinen könnte, dass bei der Bildung der Nepenthes-, Sarracenia-, Cephalotus- u. s. w. Schläuche eine Verwachsung der Blattbasis und des Scheidengrundes stattgefunden habe, so kann mir auch eine derartige Verwachsungshypothese nicht zusagen. Unter Umständen erzeugen eben die Pflanzen auf Grund gewisser biologischer Forderungen ganz bestimmt geformte Gestalten, die sich nicht in die gewöhnlichen Typen einrangiren lassen. Ganz in der gleichen Weise, wie bei den erwähnten Schlauchpflanzen tritt auch bei Duroia saccifera Hook. fil. eine Aus-

sackung ein, die weiter keine morphologische Kathegorisirung zulässt.

Es wäre vielleicht an der Zeit, dass man bezüglich der morphologischen Gleichsetzung gewisser Organe mit den sogenannten typischen Normalformen vorsichtiger würde. So hat es mich mit Genugthuung erfüllt, dass Mez[1]) den Gedanken aussprach, den ich schon mehrfach mündlich betont habe, dass man die Anhängsel an den Staubgefässen der Lauraceen nicht für Stipulargebilde ansehen soll, denn man kann „in der That nicht zugeben, dass eine in ihrer vegetativen Beblätterung völlig stipellosen Familie plötzlich an der Basis eines oder selten mehrerer Staminalkreise Nebenblätter entwickele". Ganz die gleiche Unzuträglichkeit begegnet uns bei der ähnlichen Erklärung der sogenannten Stipularzähne der Cruciferenstaubgefässe und der stipularen Zähnchen gewisser Amaryllideen[2]). Ich halte es für vollkommen richtig, nachdem die biologische Bedeutung derselben für die Pollenübertragung bereits theilweise nachgewiesen worden ist „allen diesen Gebilden überhaupt jede morphologische Dignität abzusprechen", dieselben vielmehr ganz vom biologischen Standpunkte aus zu betrachten. Um nun wieder auf die Duroia saccifera Hook. fil. zurückzugreifen, habe ich zunächst nachzuweisen, wie ich dazu gekommen bin, dieses Gewächs für eine Ameisenpflanze zu erklären. Meine Gründe sind folgende: erstens gelang es mir in den Blasen zwar nicht immer Ameisen zu finden, aber doch in einzelnen eine und dieselbe Art nachzuweisen. Den relativ sehr kleinen Behältern entsprechend sind dieselben von minutiöser Grösse. Lang ausgestreckt, d. h. wenn Thorax und Abdomen eine gerade Fläche bilden, die Thierchen vom Rücken her betrachtet, messen sie $1^1/_2$ mm. Sie sind mit sehr kräftigen Beissapparaten versehen und trugen, wie mir schien, einen Stachel am Abdomen, kurz sie machten ganz den Eindruck, dass sie zu jenen höchst beschwerlich fallenden Insekten zählen, welche sich allen in Brasilien sammelnden Botanikern an den Ameisenpflanzen sehr unliebsam bemerklich machen. Wie erwähnt, finden sie sich nicht in allen Blasen, welche ich der Unter-

1) Mez, Morphologische Studien über die Familie der Lauraceen, Diss., Berlin 1888, p. 21.

2) Dieselbe Ansicht, dass diese Zähnchen den Stipeln gleichzusetzen seien, vertritt auch Pax in Natürlichen Pflanzenfamilien, Liefr. 10, p. 100.

suchung opfern konnte vor: eine Erscheinung, die dadurch aber leicht erklärlich wird, dass die Ameisen sehr leicht aus den ziemlich festen, ihre Gestalt auch beim Pressen bewahrenden Herbergen durch die stets offen bleibende Zugangsspitze entfliehen können. Es ist also vielmehr ein für mich glücklicher Zufall, dass ich sie in einigen Fällen doch noch auffinden konnte.

Der andere Grund ist der, dass die Hohlkörper eine frappante Aehnlichkeit mit den Ameisen ebenfalls beherbergenden Melastomataceen-Blasen erkennen lassen. Da mir von diesen Pflanzen gegenwärtig ein sehr reiches Material vorliegt, so will ich mir nicht versagen, auf sie noch ein wenig einzugehen, einmal weil ich doch vielleicht noch einiges Neue über diese merkwürdigen Einrichtungen bekannt machen kann und dann, weil es immerhin wünschenswerth erscheint, dass die Aufmerksamkeit auf diese sonderbaren Gebilde immer von neuem gelenkt werde. Ich bedaure es lebhaft, dass von diesen Objecten gar kein Spiritus-Material zur Verfügung steht, denn an den getrockneten Objecten kann man doch nur wenig mehr als die allgemeinsten Formenverhältnisse studiren. Wie schon Bentham und Hooker und theilweise bereits frühere Autoren Aublet, Martius, Naudin, Triana mitgetheilt haben, sind die Gattungen Tococa, Maieta, Calophysca, Myrmedone und Microphysca, welche letztere vier Baillon in eine Gattung Maieta vereinigt hat, in vielen Arten mit Blasen versehen, die wie schon Aublet von Tococa Guyanensis und später Martius von Myrmedone, Tococa formicaria etc. angegeben haben, regelmässig den Ameisen als Wohnung dienen.

Die Lage der Blasen ist eine sehr mannigfaltige. In den bei weiten meisten Fällen befinden sie sich auf der Oberseite der Blätter; entweder sind sie dann auf ihrer ganzen Länge mit der Blattspreite verbunden, oder sie stehen nur auf grössere oder geringere Strecke mit ihr in Connex und befinden sich mit der Basis auf dem Blattstiele. Andere Formen tragen dieselben ganz auf dem Stiele. Dann können sie wieder unmittelbar die Spreitenbasis berühren, oder sie reiten in einer beträchtlichen Entfernung von dem Blattgrunde auf dem Petiolus. Endlich treten sie auch unterhalb des Blattstieles an der Zweigaxe auf.

Als ein vortreffliches Beispiel für den ersten Fall, dass die

Blase nämlich ihrer ganzen Länge nach der Blattspreite aufsitzt, kann Tococa lancifolia Spruce dienen (Fig. 10 u. 11). Auf der Oberseite der schmallanzettlichen Blätter (Fig. 10) erhebt sich die Doppelblase von etwa 3,5 cm Länge und 1,5 cm Breite. Sie scheint an der nach der Blattspitze zu gelegenen Endigung etwas höher als unten zu sein und ist von ziemlich zarthäutiger Consistenz, denn sie wird beim Pressen flachgedrückt und besonders an der Spitze gefaltet. Der Umriss ist schmal oval. Auf der Unterseite (Fig. 11) läuft die Vereinung der drei Hauptnerven des Blattes als eine relativ breite Bahn über den Mittelkörper des Gebildes hinweg, während die beiden Randnerven entweder bei der Berührung seitlich abbiegen und die Blase umgrenzen, in selteneren Fällen beobachtete ich aber, dass auch sie ihren Weg über dieselbe hinweg fortsetzten. Der Eingangskanal liegt auf der morphologischen Blattunterseite und zwar dort, wo sich die 2 Hauptnerven mit dem Mittelnerven der Spreite vereinigen (Fig. 11). In den Achseln machen sich 2 grosse, etwa 5 mm lange und 2—3 mm breite verkehrt eiförmige Löcher bemerkbar, durch die man mittelst eines steifen Fadens nahezu bis auf den Grund der Blase eindringen kann.

Ganz dieselbe Form der Blasen bieten auch manche Exemplare von Tococa truncata Benth., nur sind sie kürzer, etwa eiförmig und der Consistenz des Blattes entsprechend, von festerer fast lederartiger Beschaffenheit. Die Randnerven laufen an ihrer basalen Endigung über den Grund der Blase hinweg. Ebenso schliessen sich hier T. pubescens Spruce und eine Pflanze an, die wahrscheinlich gleichfalls von Spruce gesammelt ist und welche ich von Berg mit dem Namen T. cordata msc. herb. propr. (nunc Berol.) bezeichnet finde. Die Bildung ist indess hier nicht so constant, denn es finden sich auch Blasen, die über die Blattbasis hinwegreichen und andere, die eine mehr oder weniger über die Spreite sich erhebende Aussackung darstellen. Durch sehr dünnhäutige ebenfalls ganz auf der Spreite gelegene kugelförmige Auftreibungen ist die Gattung Myrmedone mit M. macrosperma Mart. ausgezeichnet.

Ungewöhnlich gross im Verhältniss zum Blatte sind die Blasen einer Pflanze, der Spruce den Namen T. rotundifolia beigelegt hat, die aber möglicher Weise zu Myrmedone gehört. Das mir vorliegende Blatt hat eine Länge von 8 cm bei etwa 5 cm Breite, die Blase

aber misst 4 cm in der Länge. Da nun der Eingang in dieselbe im unteren Drittel auf der Rückseite der Spreite liegt, dieser aber stets die apicale Endigung der Blase angiebt, so muss diese die Basis des Blattes um eine entsprechende Strecke überragen.

Bei Maieta Guianensis Aubl. und M. holosericopus Berg ms. ruht die Wohnstätte der Ameisen entweder ganz auf der Blattfläche oder sie reicht mehr oder weniger am Blattstiele herab und ebenso verhalten sich Tococa microstemon Berg ms., castanophora Berg ms., hirta Berg ms., longistila Spruce. Bei folgenden Arten aber sehe ich keine deutliche enge Verbindung mehr zwischen der Blattfläche und der Blase: Microphysca quadrialata Naud., Tococa Guianensis Aubl., T. dentata Berg (Spruce n. 4441), T. Goyazensis Berg ms., (diese Art sieht auf den ersten Anblick der T. formicaria Mart. sehr ähnlich, das ungenügende Material erlaubt aber keine genauere Untersuchung; Berg hat nicht angegeben, woher sie entnommen ist), T. macrophylla Naud., T. parviflora Spruce, T. bullifera Mart., T. pauciflora Spruce, T. Egensis Naud., Maieta heterophylla DC. Der Unterschied der Entfernung von der Basis des Blattes ist bei allen diesen Arten sehr gering. Manchmal erscheint sie etwas grösser; sieht man aber genauer zu, so bemerkt man, dass sich die Blattbasis dann am Grunde allmälig einzieht und ein Stückchen am Blattstiel herabläuft, so dass man nur schwierig den Punkt festsetzen kann, von dem aus die Messung der Entfernung geschehen soll. Ein anderes Bild gewährt Tococa macrophysca Spruce (Fig. 12 und 13). Hier reitet die Blase, besonders wenn man die Unterseite betrachtet, deutlich auf dem nur wenig geflügelten Blattstiele. Diese Art weicht auch deswegen von den anderen ab, dass die Auftreibung einen fast keilförmigen nach der Spitze zu sich verbreiternden, an den Seiten etwas geschweiften in 2 nach rückwärts gekrümmte Hörner auslaufenden Hohlkörper darstellt.

Von diesen Gestalten, die ich bis jetzt geschildert habe und welche mit einander durch ganz allmälige Uebergänge verbunden, jedenfalls nicht durch schroffe Klüfte getrennt werden, ist zu den Formen, welche die Gattung Calophysca bietet, ein unvermittelter Sprung. Ich habe zwei Arten derselben gesehen C. tococoidea DC. und C. Poeppigii Berg. ms., von der ich nicht weiss, ob sie nicht vielleicht mit einer der übrigen 6 bekannten übereinstimmt. Die

letztere hat nur kleine etwa erbsengrosse Behälter, die wegen ihres dichten Ueberzuges sich schwierig betrachten lassen, ohne dass man sie vernichtet. Da ich das eine mir vorliegende Exemplar nicht opfern wollte, so habe ich mich in meiner Beschreibung nur an die Calophysca tococoidea DC. gehalten.

Hier befinden sich die Blasen (Fig. 7 u. 8) nicht mehr an der Blattspreite und auch nicht an dem ziemlich langen Blattstiele, sondern unterhalb desselben. Sie liegen zwar in seiner unmittelbaren Nähe, aber doch nicht so, dass ich noch eine Zugehörigkeit zu ihm nachzuweisen vermöchte. Ihre Gestalt ist scrotiform an der Spitze stark zusammengezogen, an der Basis zweilappig, an der vorderen d. h. von der Axe abgewendeten Seite sind die beiden Hohlräume auf der unteren Hälfte durch eine tiefe Furche von einander getrennt. Die Länge des ganzen Apparates beträgt im trocknen Zustande 2, die grösste Breite, im unteren Viertel gelegen, 1,5 cm. Er ist am Rücken auf der oberen Hälfte seiner Ausdehnung der Axe angeheftet, die untere dagegen ist frei. Seine Consistenz ist, wie man aus der Schrumpfung nach dem Trocknen erkennt, membranös, die Farbe diejenige, welche so viele Blätter tropischer amerikanischer Pflanzen beim Trocknen annehmen, dunkel blutroth. Die Oberfläche ist mit schwachen, an der Basis kaum verdickten, biegsamen, 2—3 mm langen Borsten bedeckt. Der Zugang zu der Höhlung liegt genau an der Spitze des ganzes Gebildes unmittelbar unter dem Blattstiel, der hier eine kurze etwa 5 mm lange flache Furche trägt, welche in die rückwärtsgelegene Umgrenzungsfläche des Eingangskanals übergeht.

Soweit wie der Blasenapparat der Axe angewachsen ist, stellt er nur einen einzigen Hohlraum dar, erst dann theilt sich der Kanal und geht mit breiten Oeffnungen in die beiden Theilsäcke über. Ganz vollkommen erhaltene Ameisen konnte ich in der Blase nicht mehr nachweisen, wohl aber fanden sich Ueberreste einzelner Köpfe und Glieder am Grunde derselben, die vermischt mit fast kugeligen Körperchen (wahrscheinlich Kothbällchen) einen Belag bildeten.

Während bei allen übrigen von mir bis jetzt besprochenen Gattungen die Zugangsöffnung in die Blase auf der Rückseite des Blattes sich befand, liegt sie bei Calophysca tococoidea DC., wie erwähnt frei an der Spitze der Blase und würde ohne Zweifel dem Eindringen des atmosphärischen Wassers ausgesetzt gewesen sein,

wenn nicht der Blattstiel sich genau über ihr befände: dieser muss also ohne Zweifel, da ich das gleiche auch bei C. Poeppigii Berg sah, als Regendach für sie functioniren und kann dies auch ganz vortrefflich, da er etwas breiter ist als die kaum 1 mm im Durchmesser haltende Pforte.

Es sei mir gestattet, über die Morphologie der auf den Melastomatacen-Blättern befindlichen Blasen noch einige Beobachtungen hinzuzufügen. In erster Linie möge die Vertheilung der Blätter, welche dieselben besitzen, betrachtet werden. Nicht alle Arten der oben genannten Gattungen sind mit den merkwürdigen Blattanhängen versehen. Bei Tococca konnte ich dieselben an T. planifolia Benth., F. subnuda Benth., T. scabriuscula Spruce[1]) absolut nicht nachweisen, kaum dass die Blätter an den Stellen, wo man die Blasen erwarten musste, eine ganz geringe Erhebung zeigten. Ebensowenig entwickelte Calophysca impetiolaris Bg. ms., C. subamplexicaulis Bg. jemals Schläuche. Die T. truncata Benth. zeichnet sich dadurch aus, dass die in der Grösse einander zwar nicht ganz gleichen, aber doch nicht sehr auffallend verschiedenen Blätter eines Paares sich different verhalten; das grössere trägt eine Blase, das kleinere lässt nur eine äusserst geringe Auftreibung auf der Oberseite erkennen. Das oberste Blattpaar dicht unter der Inflorescenz hatte in einem Falle weder an dem grösseren noch an dem kleineren Componenten einen bemerkbaren Anhang. Die uns eben beschäftigende Art ist dadurch ausgezeichnet, dass sie zuweilen ausserordentlich kleine Blasen über die Oberfläche des Blattes treibt, die unter Umständen kaum 4 mm lang sind und sich etwa 3 mm über die Lamina erheben. In anderen Fällen sind sie wieder viel beträchtlicher der Ausdehnung nach, ich maass deren von 1, $1^1/_2$, ja von 2 cm Länge. So bietet uns T. truncata Benth. in der That ein Beispiel, an dem wir die Uebergänge aus den kleinen Vertiefungen auf der Rückseite des Blattes, die ich von T. planifolia etc. erwähnte, verfolgen können bis zu den grossen 2 cm langen Schläuchen, die denen der T. Guianensis Aubl., jener typischen und allbekannten Ameisenpflanze, gleichen. Aehnliche Verhältnisse sah ich nur noch bei T. barbata

1) Ist nach Triana (Trans. Linn. Soc. XXVIII, 133) mit den erstgenannten identisch.

Bth., wo 3 mm und 4 cm lange Blasen an einem Zweige vorkommen. Bei einer Reihe anderer Arten ist die Heterophyllie jedes Blattpaares viel stärker entwickelt. Während an T. truncata Benth. die grösseren Blätter zu den kleineren das mittlere Verhältniss von 21 : 16 ergaben, finde ich für Maieta Guianensis Aubl. die Durchschnittsproportion 17 : 5, für M. hypophysca DC. fast eben so viel, für M. heterophylla DC. 20 : 5, für Myrmedone macrosperma 11 : 2,5 = 22 : 5. Die kleineren sind in ihrer Form von den grösseren dadurch verschieden, dass sie eine mehr abgerundete und gekürzte Gestalt besitzen, während die grösseren schmäler und gestreckter sind; die ersteren sind niemals mit Schläuchen versehen.

Viele Arten der Gattung Tococa tragen an den beiden gleichmässig oder nahezu gleichmässig ausgedehnten Blättern eines Knotens Schläuche; indess kommt es doch vor, dass hier und da einmal ein solcher ausfällt, oder dass mehrere Blätter an einem Zweige desselben entbehren.

Da sich nun nicht leugnen lässt, dass die kleineren Blätter eines Paares niemals Schläuche haben, die grösseren dagegen selten ohne dieselben angetroffen werden, so könnte man geneigt sein, Beccari Recht zu geben, welcher zwischen der Grösse der Blätter und der Function der Blasen eine gewisse Relation zu sehen glaubte. Er[1]) meinte nämlich: „il rapporto fra la grandezza del lembo e quella delle borse farebbe credere, che la superficie interna diqueste potesse essere dotata di potere al sorbente, e che funzionasse quasi come uno stomaco; diguisa che il lembo delle foglie con borse piu grandi potesse essere meglio nutrito, e quindi acquistare dimensioni maggiori di quello delle foglie con borse rudimentarie.“ Von Maieta Guianensis Aublet fügt er noch hinzu, dass sich in dem Schlauche Drüsengebilde wie im Blatte von Drosera mit roth gefärbtem Protoplasma fänden und fährt fort: „Questa particolarità, combinata al fatto che le borse in parola sano intieramente ripiene di frammenti di formiche e di altri insetti, mi fa supporre che la superficie interna di dette borse possa esser dotata di proprietà digestive ed assimilatrici. Le borse formicarie della Majeta Guianensis sarebbero perciò dei veri e proprî stomachi vegetali.“

1) Beccari Malesia II, 236.

In den beiden von Beccari ausgesprochenen Sätzen kommen zwei Anschauungen zu Tage, welche gesondert betrachtet werden müssen, wenn sie auch miteinander in directem Zusammenhange stehen: erstens, dass die Schläuche der Blätter unter Umständen wenigstens (bei Heterophyllie in ausgeprägtem Maasse, namentlich angeführt bei Maieta Guianensis Aubl.) Verdauungsapparate seien, und zweitens, dass die durch Anwesenheit von Schläuchen ausgezeichneten Blätter hinsichtlich ihrer Ernährung bevorzugt seien vor den anderen, welche keine Schläuche besitzen und durch die erhöhte Nahrungszufuhr grösser würden.

Was zunächst den ersten Punkt anbetrifft, so sprechen allgemeine Erwägungen und die anatomische Beschaffenheit dagegen. Ich will die übrigen Fälle vorläufig ausser Acht lassen und mich nur an Maieta Guianensis Aubl. halten. Diese Melastomatacee wird zwar von Aublet nicht als charakteristische Ameisenpflanze vorgeführt; in seiner Beschreibung ist davon, dass diese Insecten die Schläuche bewohnten, nichts gesagt. Die Blasen sind aber so genau im Bau und der Form mit denen von Tococa Guianensis Aubl. übereinstimmend, die derselbe Verfasser so anschaulich als Wohnräume der Ameisen schildert, dass man an der gleichen Function kaum zweifeln kann. Den Detritus von Ameisenköpfen, -beinen und -leibern vermischt mit runden amorphen Kügelchen, die ich für Kothbällchen ansah, habe ich in allen Hohlräumen, auch dieser Pflanze, nachgewiesen. Aus diesen Trümmern ist jedenfalls nicht zu schliessen, dass es unverdauliche Rückstände wären, dazu ist die Menge gegenüber der constatirten vielfachen Benutzung zu gering. Ausserdem wird man kaum glauben dürfen, dass die Ameisen, die nach den so methodisch und scharfsinnig ausgedehnten Versuchen Sir J. Lubbock's als geistig durchaus nicht niedrig stehende Thiere angesehen werden können, so wenig im Stande wären, die für sie gestellten Fallen zu vermeiden. Ueberdies zeigt die Einrichtung der Blase nirgends jene besonderen Eigenthümlichkeiten, welche die Fangschläuche der Gewächse auszeichnen. Oder sollte man etwa denken, dass die Höhlen einmal als Wohnstätte dienen, dann aber als Verdauungsschläuche? Es wäre wohl, wenn man auch einen Functionswechsel an bestimmten Organen bei gewissen Pflanzen nachweisen kann, doch höchst befremdend, dass ohne wesentliche Aenderung im Bau dieselben Organe

zu zwei einander diametral entgegengesetzten Vorrichtungen verwendet werden sollten.

Dass aber die gröbere oder feinere Structur der Schläuche von Maieta Guianensis Aubl. wenigstens nach der wesentlichen Eigenthümlichkeit nicht von den anderen abweicht, lehrt die Betrachtung mit blossem Auge, wie das Studium unter dem Mikroskop. Es ist richtig, wie Beccari angiebt, dass die transversal verlaufenden Rippen des Schlauches von Maieta Guianensis ein wenig weiter in das Lumen vorspringen, als dies gewöhnlich der Fall ist (z. B. sieht man sie bei T. Guianensis Aubl. auf der Innenseite überhaupt nicht). Ausserdem finde ich die Wand, welche beide Blasenhälften von einander scheidet, weniger die gegenüberliegenden Seiten beider und hier nur den Grund mit kürzeren oder längeren Gewebezapfen von solidem Bau bedeckt. Die innere Bekleidung mit jenen von Beccari erwähnten Haaren (Fig. 9), die er für Digestions- und Absorptionsorgane anspricht, ist aber bei Maieta Guianensis im Gegensatze dazu, dass man sie reichlicher erwarten sollte, gerade viel spärlicher entwickelt, als bei anderen Formen. Die Trichome, welche zu den so ausserordentlich weit verbreiteten Köpfchenhaaren gehören, bilden z. B. bei T. truncata Benth. und T. Guianensis Aubl. einen dichten Sammetüberzug auf der ganzen Innenwand der Blase, während sie bei M. Guianensis Aubl. nur die vorspringenden Rippen einigermaassen reichlicher bekleiden. Die Gestalt derselben entspricht, wie mir scheint, durchaus nicht den absorbirenden Drüsen der insectivoren Pflanzen; anstatt eines rothen Farbstoffes fand ich in den collabirten Endzellen (Fig. 9) jene braune Färbung, welche alle Köpfchenhaare mehr oder weniger intensiv anzunehmen pflegen, sobald die Secretion aufhört.

Was mir aber die Bedeutung, welche Beccari diesen Trichomen beimisst, besonders zweifelhaft macht, ist der Umstand, dass sie nicht blos in der Blase gefunden werden, sondern dass sie den Mittel-, zum Theil auch die Seitennerven des Blattes auf der Unterfläche, namentlich an den Flanken unmittelbar an der Blattsubstanz, bekleiden. Es ist nicht wahrscheinlich, dass die genannten Stellen auch mit der Digestions- und Absorptionsfähigkeit behaftet sind. Da nun aber dieselben Drüsenhärchen, wenn auch weniger zahlreich, so doch von ganz gleicher Form und Farbe der Endkeule an den

Blättern von Maieta Guianensis Aubl. ebenfalls auftreten, die keine Blattschläuche besitzen; so, meine ich, müssen wir den Gedanken, dass in den Blasen der genannten oder anderen Pflanzen verwandter Art Verdauungsorgane zu erkennen seien, aufgeben. Trotzdem bleibt die Frage, warum sich in den Schläuchen so reichliche Haarbekleidung vorfindet in hohem Grade interessant. Dass damit ein besonders für die Pflanze wichtiger Zweck verfolgt wird, erscheint mir bei dem fast constanten üppigen Vorkommen der Drüsen nicht unwahrscheinlich.

Wäre die Beccari'sche Ansicht, dass hier Insektenfallen vorlägen richtig, so müsste man die Einrichtungen für sehr mangelhaft halten. Weder sind auf Reiz bewegliche und genug widerstandsfähige Tentakeln vorhanden, welche die Insekten fest umklammern, noch sind die Innenräume glatt und polirt oder mit einem Wachsüberzug versehen, so dass die in den Schläuchen eingesperrten Insekten an dem Entschlüpfen gehindert würden. Im Gegentheil scheinen alle Vorkehrungen getroffen, um ihnen das Herausgehen möglichst zu erleichtern. Ich habe bei den Axenschläuchen darauf hingewiesen, dass sie alle auf der inneren Wand rauh sind. Sollten die zahllosen Köpfchenhaare, welche die Wand der Höhlung wie mit einem Sammetüberzuge bekleiden, nicht ebenfalls dazu dienen können, den muthmaasslichen Schutzwachen der Blüthenstände die Ein- und Ausgänge möglichst bequem zu machen? Ich werde auf den Gedanken hauptsächlich durch die Beobachtung hingelenkt, dass die weniger rauhèn inneren Wände an dem Schlauche von Maieta Guianensis durch sonst nirgends, so weit mir bekannt ist, vorkommende Nervenleisten leichter erklimmbar gemacht werden. Denkbar wäre es nicht minder, dass die von mir in der Nähe des Blattstieles nachgewiesenen Gewebezapfen in ähnlicher Weise, wie die Sprossen einer Leiter functioniren. Denn das ist sicher, dass die Pflanze in ihrem eigenen Interesse dafür Sorge tragen muss, der Leichtigkeit des Ein- und Ausschlüpfens der Ameisen möglichsten Vorschub zu leisten.

In ähnlicher Weise finde ich auch bei Duroia saccifera Hook. fil. die vollkommen unbehaarte Innenseite der Blase durch vielfach sich schneidende gekrümmte Leisten mit unregelmässigen zahllosen Grübchen versehen. Hätte dieser Schlauch eine vollkommen glatte

Innenwand, so würde er bei dem Mangel jedes trichomatösen Ueberzuges eine vortreffliche Insektenfalle darstellen.

Indem ich nachzuweisen versucht habe, dass die Annahme, die Schläuche seien Verdauungsapparate wenig begründet ist, fällt eigentlich der erste von mir zur Discussion gestellte Punkt von selbst weg. Wenn die Blasen nicht verdauen, so kann das blasentragende Blatt nicht durch bessere Nahrungszufuhr im Wachsthum gefördert werden; hierin kann also eine Ursache der Grössendifferenz nicht liegen. Ich bin nun freilich auch nicht im Stande eine genügende Erklärung für die interessante Erscheinung vorzubringen, aber ich will doch an diese Thatsache einige Beobachtungen anreihen, die vielleicht eine solche für später anbahnen. Es erscheint nicht wunderbar, dass die Blätter an decussirten Blattpaaren ungleich lang und meist auch ungleich breit sind; im Gegentheil wäre es geradezu auffallend, wenn mit der symmetrischen Gestalt beider die Grössenverhältnisse mathematisch übereinstimmen sollten. Diese Thatsache ist schon von Hofmeister gebührend hervorgehoben worden. Ich habe mich nun bemüht, danach zu forschen, ob in der Lage der grössten Blätter eine bestimmte Wiederkehr vorhanden wäre, ob man mit anderen Worten ein Gesetz oder vielleicht eine Regel in der Stellung nachweisen könnte. Seit Jahren habe ich diesem Gegenstande meine Aufmerksamkeit gewidmet; ich habe nicht blos viele Rubiaceen, Valerianaceen, Dipsaceen, Caryophyllaceen, Urticaceen etc. auf dieses Verhältniss hin geprüft, sondern ich habe auch die Grössenunterschiede ihrer Achselproducte mit ins Auge gefasst. In einzelnen Fällen wie bei den Stellaten, Spermacoceen und vielen andern Tribus der Rubiaceen mit aufrecht wachsenden Stengeln fand ich zwar bei der Verbindung der grössten resp. kleinsten Blätter unter sich durch Linien eine bestimmt verlaufende Spirale, die in einheitlichem Sinne den Stengel umkreiste, plötzlich aber brach sie ab und setzte sich in die entgegengewendete um. Bis jetzt habe ich hier keine wirklich öfter wiederkehrende Regel beobachtet, womit ich indess nicht behaupten will, dass sie nicht existirte.

Anders war es bei denjenigen Blätterpaaren, welche durch eine auffallende Differenz der Componenten sich auszeichneten. So z. B. liegen, wie ich wenigstens aus getrockneten Exemplaren zu entnehmen vermag, bei der Urticacee Cypholophus heterophyllus Wedd. die

grossen Blätter abwechselnd rechts und links in zwei Zeilen die um 90° von einander divergiren; die kleinen liegen dementsprechend in zwei Längsreihen auf der entgegengesetzten Seite des Stengels. Die ersteren scheinen auf der oberen, die letzteren auf der unteren des muthmaasslich horizontal gerichteten Sprosses zu stehen. Bei nicht wenigen Urticaceen und bei einzelnen Cyrtandra-Arten, die hauptsächlich in Neu-Guinea wohnen, geht die Grössendifferenz bis zum äussersten Maasse; während man bei den letzteren noch ein kleines Spitzchen als Rudiment des Blattes findet, ist an den ersteren der kleinere Genosse des Paares völlig in Wegfall gerathen. Man könnte nun annehmen, dass dadurch die Stellung der grossen Blätter ebenso wenig geändert wäre, wie bei Cypholophus heterophyllus Wedd. Dem ist aber nicht so, sobald die kleineren Componenten minutiös werden oder ganz verschwinden, stellen sich die Blätter sehr deutlich zweizeilig.

Die heterophyllen Blätter der Melastomataceen liefern ein sehr schönes Beobachtungsmaterial für diese Angelegenheit. An den gleich- und nur wenig ungleichblättrigen Gestalten wie T. Guianensis Aubl., T. barbata Benth., T. truncata Benth., ausserdem aber auch an der recht verschiedenblättrigen Maieta Guianensis Aubl. und wahrscheinlich auch an M. heterophylla Dc. konnte ich jene bei Cypholophus besprochene Oscillationen um 90° sehr deutlich wahrnehmen. Bei einer ausserordentlich zierlichen schlauchlosen und im höchsten Grade heterophyllen Melastomatacee (Fig. 14), die Karsten in Columbien gesammelt hat und einen Manuscriptnamen Maieta flexuosa Kl. trägt[1]), fand ich aber das Verhältniss, welches decussirte Blätter dann annehmen, wenn das kleinere fast ganz geschwunden ist. Von der Pflanze sind leider keine Blüthen vorhanden, sie ist also nicht sicher zu bestimmen und kann nur vermuthungsweise in der Gattung belassen werden. Ich maass an den Blattpaaren folgende Grössen: 10 : 0,8 cm, 11 : 1,4 cm, 12 : 1,2 cm, 14 : 1,5 cm etc. Diese geringe Spreitenentwicklung scheint selbst in der allerfrühsten Anlage auf die ganze Disposition der Blätter keinen Einfluss zu haben, ebenso wenig, wie die kurzen Spitzchen, welche sich an den Knoten ge-

1) Triana hat sie allerdings zweifelhaft zu Calophysca gestellt, cf. Trans. Linn. soc. XXVIII, 141.

wisser Cyrtandra-Arten vorfinden. Es wird auf diese Weise ein Belaubungssystem gebildet, das ausserordentlich ungewöhnlich ist, ich kenne sonst kein Beispiel von gegenständigen Blättern, bei denen die Paare in einer Ebene liegen.

Aus den von mir mitgetheilten Thatsachen geht hervor, dass die Heterophyllie an decussirten Paaren sehr verbreitet, und dass sie also nicht blos ein Attribut der blasenführenden Melastomataceen ist. Das Beispiel von Maieta flexuosa Kl. lässt aber erkennen, dass das höchste Maass der Differenz bei einer Pflanze gefunden wird, die an beiden Blättern eines Knotens keine Schläuche trägt. Demgemäss kann die Ursache der Wachsthumsförderung unmöglich bei den Melastomataceen in den die Nahrungszufuhr durch Verdauung begünstigenden Schläuchen liegen.

Ich komme nun zum Schlusse auf die morphologische Bedeutung der Schläuche an den Blättern der Gattungen Toooca, Maieta, Microphysca und Myrmedone zu sprechen, indem ich die von Calophysca für sich betrachten muss. Wäre von diesen Pflanzen einzig und allein die Tococa macrophysca Spruce bekannt geworden, anstatt, dass man über eine so grosse Anzahl von Formen höchst verschiedener Lage verfügen konnte, so würde man gewiss nicht zögern, diese merkwürdigen Anhänge den Stipularbildungen zuzurechnen. Wenn schon sonst bei den Melastomataceen keine Nebenblätter vorkommen, so würde doch die ausserordentliche Uebereinstimmung, welche die Blase der genannten Art mit den stipulis adnatis bietet, eine derartige Erklärung in höherem Grade gerechtfertigt erscheinen lassen, als es z. B. bei den Cruciferen-, Lauraceen-, Amaryllidaceen-Staubgefässen mit den sogenannten Stipularzähnchen geschehen kann. Man dürfte sich etwa die Sache so vorstellen, dass zwar gewöhnlich die Stipulae nicht ausgebildet sind, dass sie aber unter den abnormen Verhältnissen, wie bei der Blasenbildung zum Vorschein kommen. Ich würde indess lieber, wie bei den Blasen von Duroia saccifera Mart. auf jede morphologische Deutung verzichten, als einer derartigen Erklärung, wie ich oben bemerkte, das Wort zu reden.

Durch die schönen Uebergangsformen, welche ich schon von T. truncata Benth. und anderen Arten erwähnt habe, sind wir im Stande, eine meines Erachtens nach befriedigende Ableitung der in Frage stehenden Gebilde zu geben. Sie sind vergrösserte Domatien.

Ich habe diese Herkunft zwar selbständig gefunden, muss aber hier darauf hinweisen, dass bereits vor mir Beccari die Schläuche in derselben Weise ihrer Entstehung nach erklärt hat. Seine[1]) Worte sind folgende: In Tococa subnuda Benth. nella pagina inferiore del lembo, presso la base, nell'angolo che colla costa mediana formano le due nervature laterali primarie, si osservano delle piccolo cavità circondate da peli, che in niente differiscono dai cecidii delle Laurinee e di altre piante. Se immaginiamo adesse che il piccolo incavo... vada estendendosi, senza che l'orifizio si allarghi, ci sarano sesi essattamento conto del come si possono essere formate le borse delle Melastomacee di cui ci occupiamo". In dem folgenden Satze glaubt er die Vergrösserung durch eine Reizwirkung der darin wohnenden Insekten erklären zu können.

Die früher Cecidien gegenwärtig Domatien genannten Gebilde, sind schon seit langer Zeit bekannt, und es ist ebenfalls nichts neues, dass sie fast regelmässig von kleinen Arthrozoen, meist von Milben bewohnt werden. Ohne dass man wusste, dass sie diesen Thierchen eine constante Heimstätte gewähren, war man aus Rücksicht für die systematische Sonderung der schwierigen Gattung Cinchona auf sie aufmerksam geworden. Die Folia scrobiculata sind für einzelne Arten derselben ein sehr erwünschtes Merkmal zur Unterscheidung von verwandten Formen. Nees hat sie bei seiner Monographie der Lauraceen erwähnt und Meissner weist auf ihr mehr oder weniger constantes Vorkommen bei Ocotea, Phoebe u. s. w. hin. Baillon[2]) hat die Gebilde ebenfalls untersucht und hat gezeigt, dass sie ererbte Eigenthümlichkeiten des Blattes sind, und nicht Höhlungen die erst in Folge der Besiedelung entstehen, denn sie werden bereits wenigstens andeutungsweise in den Knospen bemerkt zu einer Zeit, wo von einer Beeinflussung durch Fremdlinge noch keine Rede sein kann. Mez[3]) hat in seinen Untersuchungen der Lauraceen auch diese „bullaten Auftreibungen in den grösseren Blattwinkeln" studirt und auf ihre Uebereinstimmung mit den Domatien Lundströms hingewiesen. Die anatomische Untersuchung ergab keine bemerkenswerthen Abweichungen von dem Bau der übrigen Spreitentheile.

---

1) Beccari, Malesia II, 235.
2) Baillon, Histoire des plantes II. 456.
3) Mez, Morphologie der Lauraceen 4.

Ich habe die Domatien an sehr vielen Gattungen der Sterculiaceen, Tiliaceen, Myrtaceen, Rubiaceen u. s. w. gefunden. Besonders schön ausgebildet sind sie bei der Gattung Büttneria, wo sie Taschen darstellen, die an den kahlen Formen durch eine eigene Gewebeplatte, welche sich zwischen den Aesten der Nervengabeln ausbreitet, überdacht werden. Alle die zahlreichen Pflanzen, von denen die Diagnose angiebt „foliis subtus in axillis nervorum barbatis“ gehören zu den Domatien führenden Gewächsen. Gewöhnlich ist der Zugang der breiteste Theil des ganzen kleinen Hohlraumes. Die Gattung Alibertia jedoch, besonders schön in der Art, die ich A. sessilis genannt habe, besitzt sehr kleine kreisrunde Mündungsöffnungen, die in einen doppelt so grossen Hohlraum leiten. Auch bei den Euphorbiaceen sind die Domatien vorhanden und endlich sind sie unter den Melastomataceen verbreitet.

Wenn man wie Beccari schon erwähnt hat, die normal blasenlosen Blätter von T. planifolia Spruce, subnuda Benth. u. s. w. genauer betrachtet, so kann die Anwesenheit von Domatien nicht entgehen. Sie sind hier nicht in allen Nervenachseln vorhanden, selbst wenn mehr als drei Längsnerven die Blattspreite durchziehen; sondern liegen stets nur in den Winkeln, welche das oberste Nervenpaar mit dem Medianus bilden. Sind die Domatien auch noch so flach, so bemerkt man doch immer eine, wenn auch zuweilen sehr schwach angedeutete Aussackung auf der Oberfläche des Blattes. Von diesen zu den kleinsten etwa 3 mm hohen Blasen der Tococa truncata Benth. ist ein sehr kleiner Schritt und diese gehen, wie ich oben sagte, per omnem gradum in die 2 cm langen die Blattbasis überragenden Schläuche über. Ebenfalls kein Unterschied dem Wesen nach liegt bei den Hohlkörpern vor, welche wie bei T. bullifera Mart. unterhalb der Lamina sich befinden. Auch hier sind die Eingänge in die Schlauchhälften genau an derselben Stelle in den Achseln des oberen Nebenpaares, die einzige Differenz besteht nur darin, dass der Zugang kanalartig verlängert ist. Das gleiche gilt von der so abweichenden Form der Blase an der T. macrophysca Spruce (Fig. 13).

Nicht minder spricht die mikroskopische Prüfung der Blasen für die Annahme einer domatienartigen Aussackung. Ich untersuchte mehrere Blasen und zeichnete die Oberflächenbeschaffenheit

derjenigen, welche bei Maieta Guianensis Aubl. (Fig. 9) vorkommen. Die Form der Epidermiszellen, die zahlreichen kleinen Spaltöffnungen, die Bekleidungen mit Köpfchenhaaren, kurz alle hier sichtbaren Merkmale stimmen mit den entsprechenden Organen der Blattunterseite überein, nur dass, wie ich oben vermuthungsweise aussprach, aus biologischen Ursachen, die Haare viel zahlreicher sind und oft einen sammetartigen Ueberzug hervorbringen.

Somit kann ein Zweifel gegenüber der Richtigkeit der Beccarischen Auffassung nicht bestehen. Ob freilich der Reiz, der die Schläuche bewohnenden Ameisen die Vergrösserung derselben bewirkt, das ist eine andere Frage. Ein hinreichendes Material stand mir leider für die Untersuchung der Entwicklungsgeschichte nicht zu Gebote; indess konnte ich doch eine Knospe, die noch ziemlich weit in der Ausbildung zurück war studiren. An ihr fand ich, dass die Schläuche schon an jungen Blättern der Anlage nach vorhanden sind, gerade so, wie Baillon die gleiche Erfahrung an jungen Lauraceensprossen machte. Wir haben es also sicher hier mit vererbten, nicht erst mechanisch hervorgerufenen Eigenthümlichkeiten der Blätter zu thun. Darüber zu entscheiden, ob die Erweiterung der Domatien das Primäre und die Besiedlung der dann entstandenen Schläuche eine Folge ist, oder ob die Schläuche phylogenetisch gedacht als eine Wirkung der sich allmälig in grösserer Zahl einnistenden Ameisen vorgestellt werden soll, wage ich nicht. Der Umstand, dass einzelne Arten von Tococa, dass ferner die ganz nahe verwandte Gattung Heterotrichum und einige andere der Schläuche ganz entbehren, veranlasst jedenfalls vor schnellem Schliessen sich zu hüten.

Die Bedeutung der Besiedlung mit Ameisen liegt für die Pflanzen jedenfalls auch darin, dass sie als Schutzwache für dieselben fungiren. Ein Beispiel kann wohl dazu dienen, diese Hypothese zu illustriren. Trotzdem dass einige Pflanzen besonders die Maieta-Arten ziemlich dünnhäutige Blätter besitzen, sind sie doch in den Herbarien niemals angefressen oder irgend wie durch die Einwirkung unberufener Gäste verletzt. Ich fand aber ein Exemplar von T. pubescens Spruce[1]), dessen Blätter vollkommen skelettirt waren.

1) Triana hielt diese Pflanze für identisch mit T. coronata Bth., cf. Trans. Linn. soc. XXVIII, 133.

Als ich nun genau zusah, bemerkte ich, dass die Blase zerrissen und ohne Zweifel dadurch als Wohnraum für die Ameisen untauglich geworden war. Es ist höchst wahrscheinlich, dass dieser Zweig nun schutzlos, den auf sie eindringenden feindlichen Thierchen zum Opfer gefallen war.

Ich habe bis jetzt die Blasen der Gattung Calophysca ausser Acht gelassen, weil sie die von der anderen Gattung abweichende, uns bekannte Lage unterhalb des Blattstieles an der Axe besitzen. Sie können unbedingt nicht unmittelbar mit jenen zusammengestellt werden, da sie nicht mehr den Eingang von den Achseln der Blattnerven aus finden, sondern eine apicale von dem Blattstiele geschützte Oeffnung aufweisen. Die Domatien sind an der gewöhnlichen Stelle auch hier vorhanden. Eine andere Abweichung gegen die gewöhnlichen Melastomataceenschläuche ist auch in dem Umstande zu erkennen, dass die beiden Schlauchhälften nicht bis an die Eingangspforte getrennt sind, sondern dass die letztere zuerst in einen für beide gemeinsamen Kanal führt, welcher halb so lang wie der ganze Apparat ist.

Halten wir aber an der Möglichkeit einer phylogenetischen Abwandlung von Organen fest, so können wir uns immerhin vorstellen, dass die bereits bei T. macrophysca Spruce und T. bullifera Mart. ziemlich weit von dem Blattgrunde entfernt auf dem Petiolus reitenden Blasen (der Kanal misst doch hier schon von dem Domatieneingang bis zum deutlichen Uebergang in die Blase 1 cm), ihre Wanderung blattstielabwärts bis an die Basis des Spreitenträgers fortgesetzt haben. Die Entfernung von der Eingangspforte bis zur Blase, so können wir etwa denken, ist zu beträchtlich geworden und der ursprüngliche Modus wurde dahin abgeändert, dass sich eine neue Oeffnung an der Spitze der Blase aufthat. Ich bin mir wohl bewusst, dass diese Erwägung nur eine Speculation ist, zu deren festerer Begründung vor allen Dingen ein Bindeglied fehlt: der Fall nämlich, dass eine Blase auf dem Blattstiele befestigt ist, ihre Eingangsöffnung aber nicht mehr in den Domatien liegen hat, sondern an der Spitze trägt. Gelänge es, dieses Verhältniss zu beobachten, so würden meine Betrachtungen einen festeren Boden haben; in diesen Worten soll aber keine andere Absicht erkannt werden, als dass ich darauf hinweisen möchte, alle getrockneten Materialien zu

prüfen und die Botaniker, welche in der glücklichen Lage sind, in der Heimath die Pflanzen beobachten zu können, anzuregen, nach einem solchen Vorkommen zu forschen.

Ist man indessen nicht geneigt, meinen Ansichten beizupflichten, so muss man sich entschliessen, die Blasen von Calophysca tococoidea DC. als ein nicht weiter beziehungsfähiges Gebilde anzusehen, in dem gleichen Maasse, wie ich die von Duroia saccifera Hook. fil. für eine eigenartige Umbildung der Blattbasis ansprach.

Obschon es eigentlich für jeden, der meiner Darstellung der Wohnräume von Duroia saccifera Hook. fil. mit Aufmerksamkeit gefolgt ist, überflüssig ist, will ich doch noch einmal darauf hinweisen, dass dieselben mit den Domatien nichts zu thun haben, welche sich neben ihnen auch noch finden. Vor allen Dingen spricht die Thatsache dagegen, dass ihre Zugangspforten auf der morphologischen Oberseite des Blattes liegen, wenn auch die klare Sachlage durch die basale Einfaltung der Lamina behufs Bildung eines Regendaches etwas verschleiert wird. Diese Aussackung des Blattes in der Richtung nach unten, im Gegensatz zu den Domatien, welche eine Buchtenbildung nach oben darstellt, bedingt, dass das Innere des Hohlkörpers von Duroia saccifera Hook. fil. von einem Gewebe überzogen wird, das mit dem der Blattoberseite übereinstimmt, namentlich fehlen in ihm alle Spaltöffnungen.

Die Wahrscheinlichkeit, dass diese Blattblasen als Anpassungen an Ameisen zu betrachten sind, wird durch dieselben Momente bekräftigt, welche ich oben zu Gunsten einer gleichen Betrachtungsweise der Axenschläuche herangezogen habe. Ich brauche deshalb nicht auf alle einzelnen von Neuem einzugehen. Den Gedanken, dass diese Organe, denen doch unbedingt eine gewisse biologische Bedeutung nicht abzusprechen ist, als Digestions- und Absorptionsorgane dienen könnten, welche bei den axilen Hohlkörpern nicht in Frage kommen kann, habe ich zurückzuweisen versucht. Es wäre nun nur noch die Frage übrig, ob sie vielleicht als Wasserreservoire fungiren könnten. Dagegen spricht vor allem die Thatsache, dass sie durch besondere Vorrichtungen gegen das Eindringen der atmosphärischen Niederschläge geschützt sind. Entweder wird der Eintritt von Flüssigkeit dadurch verwehrt, dass die Blasen von der Unterseite des Blattes her zugänglich sind, oder falls die Zugangsöffnung auf der

morphologischen Oberseite gelegen ist, wird der Schutz durch ein eigenthümlich gestaltetes Regendach bewirkt. Sonst könnte nur noch die Möglichkeit bestehen, dass die Blasen selbst Wasser abscheiden. Dagegen spricht die oben dargelegte anatomische Structur der Blasen. Die Annahme, dass die Pflanze also besondere Vorkehrungen getroffen hat, um den Ameisen einen wohnlichen Hohlraum zu bieten und man dafür den wirksamen Schutz der tapferen Thierchen als Gegenleistung in Anspruch nimmt, erreicht aus allen diesen Gründen einen hohen Grad von Wahrscheinlichkeit.

Welches die Vorrichtungen sind, durch die die Insecten auch mit Nahrungsmitteln versehen werden, ist mir bei den Melastomataceen durchaus nicht gelungen, auch nur zu vermuthen. Was Duroia saccifera Hook. fil. anbetrifft, so gilt alles das, was ich oben bei der Duroia hirsuta m. ausführlicher auseinandergesetzt habe. Dass die nach diesen Zielen gerichteten Untersuchungen von Erfolg begleitet sein werden, ist mir aus den oben entwickelten allgemeinen Betrachtungen sehr wahrscheinlich. Ich will auch nicht unterlassen, darauf hinzuweisen, dass bei Maieta holosericopus Berg ms., wie der Name sagt, die Blattstiele auf der Oberseite mit einer dichten Bekleidung von langen Haaren bedeckt sind, die vielleicht besondere Körper, etwa wie die ähnlich aussehenden Blattstielbekleidungen von Cecropia, umhüllen. Ich konnte sie indess an dem einen Exemplare, welches ich der Prüfung opfern durfte, nicht finden. Vielleicht spielen die von Beccari für digestive und absorbirende Haare angesehene Drüsenköpfchen eine ähnliche Rolle. Indess sind diese Vermuthungen von keinem Belange, hier kann nur das Studium an Ort und Stelle Aufklärung verschaffen.

Herr Professor Dr. Emery in Bologna hat mit grosser Liebenswürdigkeit die Bestimmungen der in den Wohnstätten von mir gesammelten Ameisen vorgenommen, deren Resultate ich hier aus seinem an mich gerichteten Briefe im Auszuge mittheile:

1. In Duroia hirsuta m. aus Neu-Granada befindet sich eine neue Myrmelachiste, welche der Autor M. Schumanni benannt hat.

2. In derselben Pflanze von Teffe haust eine Azteca, welche ebenfalls neu ist. Sie gleicht der bekannten Imbauba-Ameise (Azteca instabilis Sm.), weicht aber durch etwas andere Form des Thoraxes und Mangel der abstehenden Behaarung sehr bedeutend ab. Emery

schlägt für sie den Namen A. depilis vor. Mit ihr zusammen habe ich noch ein Exemplar von Solacopsis geminata, von der Emery mittheilt, dass sie die gemeinste Ameise der Tropenwelt ist, eingeschickt. Er meint, dass sie wohl nur zufällig mit getrocknet sein dürfte.

3. Duroia petiolaris Hook. fil. wird von Azteca brevicornis Mayr bewohnt.

4. Duroia saccifera Hook. fil. beherbergt den Allomerus septemarticulatus Mayr.

5. Tococa parviflora Spruce gewährt einer Myrmelachista, die aber zu schlecht erhalten ist, als dass sie diagnostizirt werden könnte; jedenfalls ist sie nahe verwandt mit Myrm. Schumanni Em.

Emery fügt noch hinzu, dass die Gattung Azteca ein besonderes Interesse in Anspruch nimmt. Es sind von der Gattung bis jetzt zwei Arten bekannt: A. instabilis und A. brevicornis, welche nach meinen Beobachtungen nun ebenfalls als pflanzenbewohnende Art festgestellt erscheint. Dazu kommt die dritte von mir gefundene Art A. depilis Em., und ausserdem befinden sich noch in Emery's Besitz zwei andere, eine von Mato Grosso und eine von Pará. Es ist dem vortrefflichen Kenner dieser Insecten nach der Kopfbildung der Arbeiter wahrscheinlich, dass auch diese beiden letzterwähnten Formen zu einem Gewächse in naher Beziehung stehen, zumal er auch bei den ostindischen Camponotus-Arten, die zwischen Palmenblättern leben, eine solche Beziehung der Kopfform zu den Wohnplätzen zu erkennen glaubt.

Schluss.

Wenn ich von der grossen Zahl derjenigen Pflanzen absehe, welche durch extranuptiale Nectarien dem Besuch von Ameisen einen gewissen Vorschub leisten, und wenn ich unter Ameisenpflanzen im strengen Sinne, indem ich mich der kritischeren Auffassung von Treub, Goebel und A. F. W. Schimper anschliesse, nur diejenigen Gewächse verstehe, bei denen besondere Vorrichtungen angetroffen werden, welche der Vermuthung Raum geben, dass sich

die Vegetabilien dem Ameisenbesuch enger angepasst haben; so schrumpft die Zahl derselben doch beträchtlich zusammen. Ich will im Folgenden versuchen, eine klassificirende Zusammenstellung derjenigen Gewächse zu geben, die nicht blos von Ameisen besucht, sondern von ihnen muthmaasslich bewohnt werden, die mit jenen also wahrscheinlich ein wirklich symbiotisches Verhältniss eingegangen sind.

I. Pflanzen mit axilen Wohnräumen.

A. Die ganze Pflanze baut sich aus hohlen Internodien auf, welche besonders präformirte Stellen erkennen lassen, die einen leichten Zugang ermöglichen: Die meisten Arten von Cecropia, Clerodendron fistulosum Becc.

B. Der Stamm ist solide, nur einzelne Theile der Axe sind ganz oder streckenweise schlauchartig aufgetrieben.

a) Die Blasen liegen am oberen Theile eines gestreckten Internodiums: Duroia hirsuta m., D. petiolaris Hook. fil., einzelne Arten der Gattung Cordia, sicher Cordia gerascanthus Jacq.. vielleicht C. nodosa Lam. (Durch die Güte des Herrn Dr. Schenck konnte ich ziemlich junge Schläuche der letzteren genauer untersuchen. Obschon ich bereits einige Ameisen in sehr jugendlichen Zuständen darin fand, da ihre Puppenhüllen noch neben ihnen lagen: so wird mir doch die Wahrscheinlichkeit nahe gelegt, dass dieselben ihre Schläuche nicht durch eine Spalte, wie ich bei C. gerascanthus gefunden, öffnen; sondern dass die Entwickelungsgeschichte hier wahrscheinlich eine von Anfang an vorhandene Oeffnung nachweisen wird. Für diese Voraussetzung spricht auch die sehr reichliche Haarbekleidung im Innern des Schlauches, welche ich an denjenigen Hohlkörpern, die vermuthlich früher geschlossen waren, nicht gesehen habe. Der Wunsch, dass die Entwickelungsgeschichte des Gebildes uns möglichst bald mitgetheilt würde, kann durch diese Thatsache nur um so lebhafter werden.)

b) Die Blasen liegen am unteren Theile des Internodiums: Cuviera physinodes m.

c) Die Blüthenstandsaxe ist ihrer ganzen Länge nach hohl: Pleurothyrium macranthum Poepp. (Wie sich die anderen Pleurothyrien verhalten, ist ungewiss; auch darüber kann ich keine Klarheit gewinnen ob, was wahrscheinlich, die Axen in der vegetativen Region solide sind. Hier schliessen sich muthmaasslich Kibara formicarum Becc. und K. hospitans Becc. sowie Myristica formicarum Becc., Endospermum formicarum Becc. und Macaranga caladiifolia Becc. an.

Die Zugänge werden hier theilweise durch spontan entstehende Längsspalten (Duroia, Pleurothyrium, Myristica myrmecophila Becc. nach der Abbildung), theilweise durch dünnere, leicht durchdringbare Stellen (Macaranga caladiifolia Becc., Endospermum formicarum Becc. nach den Zeichnungen) vorbereitet. Sicherheit hierüber können erst weitere Untersuchungen bringen.

II. Pflanzen mit Blattschläuchen.

A. Die Stipulardorne dienen als Wohnstätten: Acacia cornigera Jacq. A. sphaerocephala Willd.

B. Die Blattspreite erzeugt Hohlkörper.

a) Die Blasen sind vergrösserte Domatien, Eingang auf der Unterseite des Blattes: gewisse Arten der Gattungen Tococa, ferner alle Species von Maieta, Microphysca und Myrmedone. Calosphysca ist insofern abweichend, als die Blasen an der Axe sitzen; phylogenetisch dürften sie aber von denen der übrigen Gattungen abzuleiten sein.

b) Die Blasen sind nicht weiter zu parallelisirende Anhänge der Blattbasen; der Eingang liegt auf der morphologischen Oberseite des Blattes: Duroia saccifera Hook. fil.

Nach den Untersuchungen von Treub und Goebel dürften die übrigen Rubiaceen, welche früher als typische Ameisenpflanzen galten (Myrmecodia, Hydnophytum, Myrmephytum und Myrmedoma) von der eben genannten auszuschliessen sein. Meiner subjectiven Ansicht nach können auch die Orchidaceen und Palmen, welche nach Beccari in Symbiose mit Ameisen leben, nicht hierher gezählt werden. Dagegen möchte ich von Neuem die Aufmerksamkeit auf Acacia fistulans Schweinf. lenken. Bei ihr finden wir die Stipulardornen theilweise

und wie es scheint besonders in der Nähe der Inflorescenzen blasig zu grossen kugelförmigen Hohlkörpern angeschwollen. Wenn ich nicht irre, habe ich von Schweinfurth vernommen, dass diese Auftreibungen nicht blos an den in der Heimath der Pflanze gesammelten Exemplaren sich finden, sondern dass sie auch an cultivirten, in Cairo gezogenen Bäumen in gleicher Weise auftreten. Diese Wahrnehmung veranlasst dazu, doch genau zu untersuchen, ob die Vergrösserung der sonst kegelförmigen Dornen wirklich durch den Stich eines Insects hervorgerufen wird. Die grossen Hohlkörper erhalten ohne Zweifel gewisse Eingangsöffnungen, wofür der Bericht birgt, dass durch den in die Hohlräume einströmenden Wind ein eigenthümliches Tönen hervorgerufen wird, welches dem Baume den arabischen Namen Szofar verschafft hat.

Ganz regelmässig finden sich auf der Pflanze nach Schweinfurth's Aussage eigenthümliche Missbildungen der Früchte, die der berühmte Reisende dem Einflusse von gallenbildenden Insecten zuschreibt. Bei der Betrachtung dieser im Berliner Herbar aufbewahrten Gallen äusserte Herr Dr. Schenck die Meinung, dass sie Pilzkörper sein könnten, eine Vermuthung, die durch die mikroskopische Untersuchung bestätigt wurde. Herr Conservator Hennings erkannte darin eine wahrscheinlich neue Art von Aecidium, verwandt mit A. ornamentale, das ebenfalls auf Acacien gedeiht. Ob etwa dieses in Zusammenhang mit den Ameisen steht, ob etwa daraus Sekretionen abgesondert werden, die ihnen wünschenswerth sind zu prüfen, empfehle ich ebenfalls der Berücksichtigung. Dass die Acacien Afrikas übrigens unter gewissen Umständen reichlich von Ameisen besucht werden, erzählt mir Herr Dr. Schinz. Er beobachtete, dass die Acacia giraffae in der Jugend einen äusserst übeln, an Wanzen erinnernden Geruch verbreitet, der Holz und Rinde dergestalt beeinflusst, dass das Fleisch der Giraffen, welche von solchen Bäumen gefressen haben, ungeniessbar ist. Die Zweige sind dann mit starken Dornen bewehrt, wie mir der vortreffliche Beobachter aber versichert, niemals von Ameisen besucht. Bereitet sich die Pflanze zum Blühen vor, so werden die Stacheln immer kleiner und verschwinden endlich ganz, der Geruch des Holzes und der Rinde verliert sich und nun wimmelt der ganze Baum von Ameisen.

Figuren-Erklärung.

Tafel X u. XI.

Fig. 1. Duroia hirsuta m.: Junges Zweiglein mit einem Blattpaar, die Knospe durch die konische Stipularmütze verschlossen.

Fig. 2. Duroia hirsuta m. Ein älterer Schlauch geöffnet; bei a der Eingang, welcher durch Ameisen hergestellt worden ist; b die zweite Längsspalte.

Fig. 3. Pleurothyrium macranthum Nees, ein Stück der Inflorescenzaxe; bei a Spalte mit offenem Zugange, b Spalte, in der kein Zugang herausgearbeitet worden ist.

Fig. 4. Duroia saccifera Hook. fil. unterer Theil des Blattes mit einem Schlauchpaare von unten gesehen.

Fig. 5. Dieselbe von oben betrachtet; bei a die Eingänge in die Höhlungen.

Fig. 6. Dieselbe von der Seite gesehen.

Fig. 7. Calophysca tococoidea DC. Blattknoten mit heterophyllem Blattpaar und Blase von vorn betrachtet.

Fig. 8. Dasselbe von der Seite gesehen.

Fig. 9. Maieta Guianensis Aubl., Oberflächenansicht der Blase, K Köpfchenhaar. (Zeiss II D.)

Fig. 10. Tococa lancifolia Spruce; Blattbasis mit Schläuchen von oben gesehen.

Fig. 11. Dieselbe von unten gesehen. a Eingänge, der Lage nach den Domatien entsprechend.

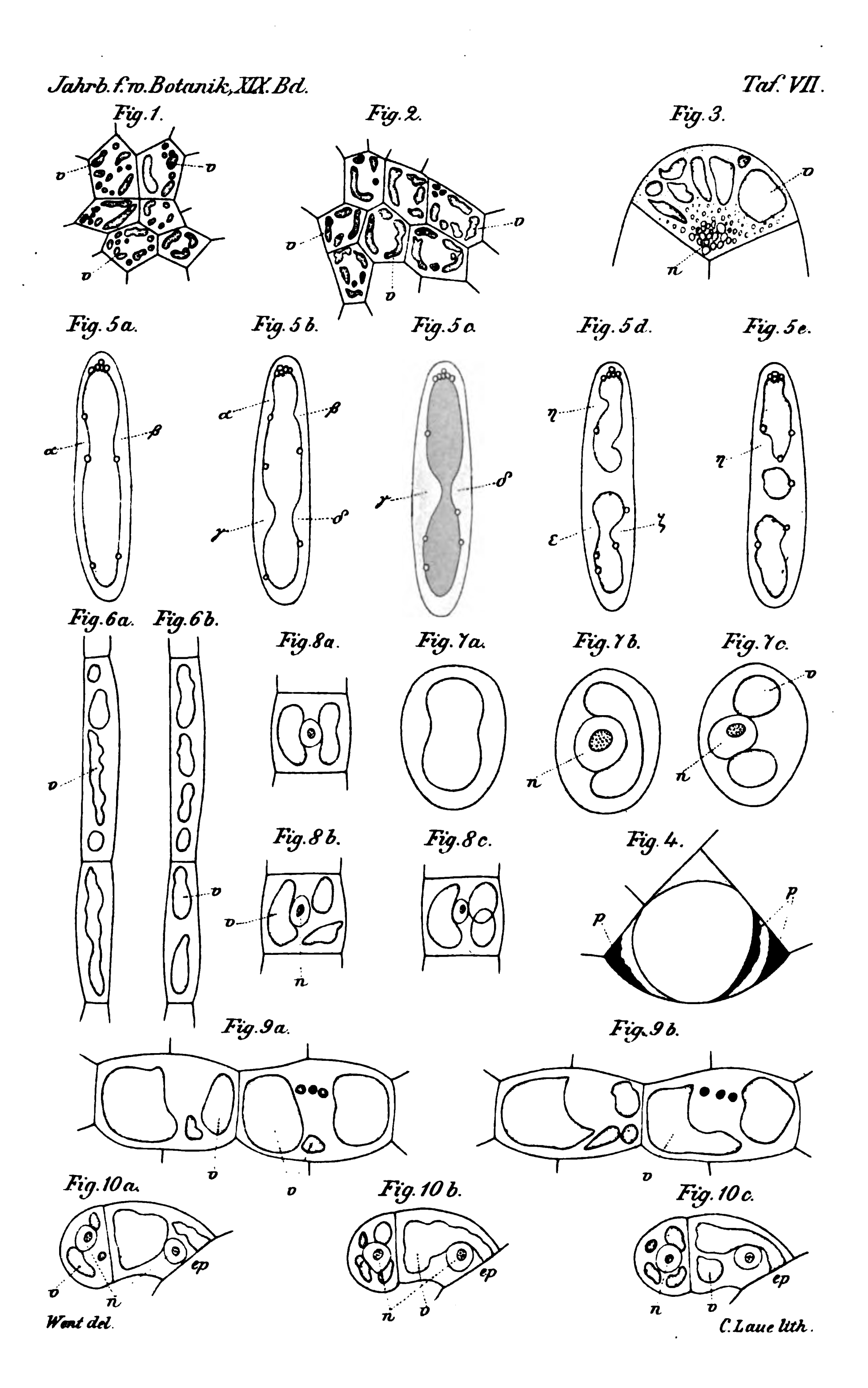
Fig. 12. Tococa macrophysca Spruce; Blattbasis mit Schläuchen auf dem Blattstiele, von oben betrachtet.

Fig. 13. Dieselbe von unten betrachtet; a die Eingänge in die Schläuche.

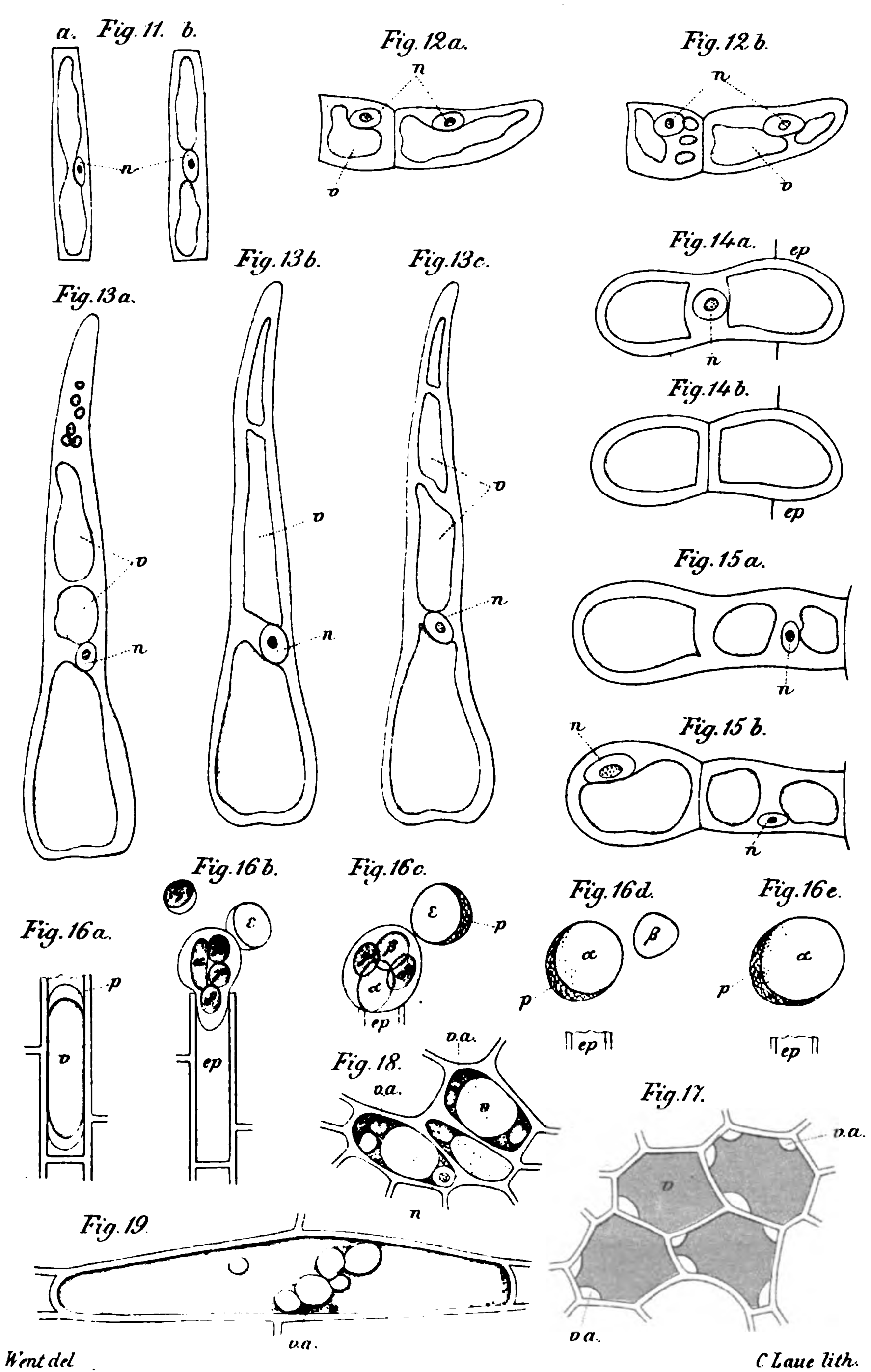
Fig. 14. Maieta flexuosa Kl., Zweigende, die ausgeprägte Heterophyllie zeigend.

Inhalt

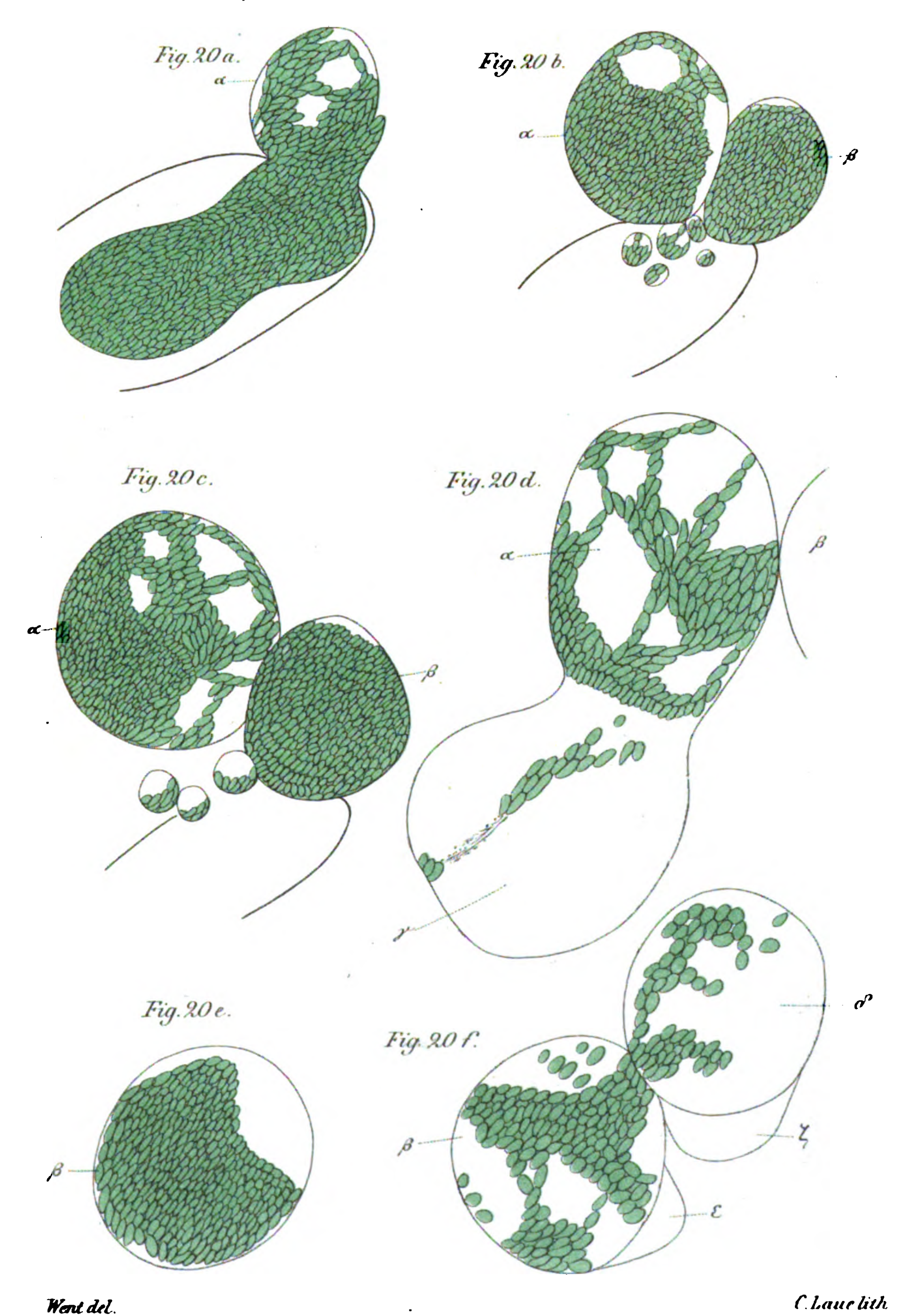
des vorliegenden 3. Heftes, Band XIX.



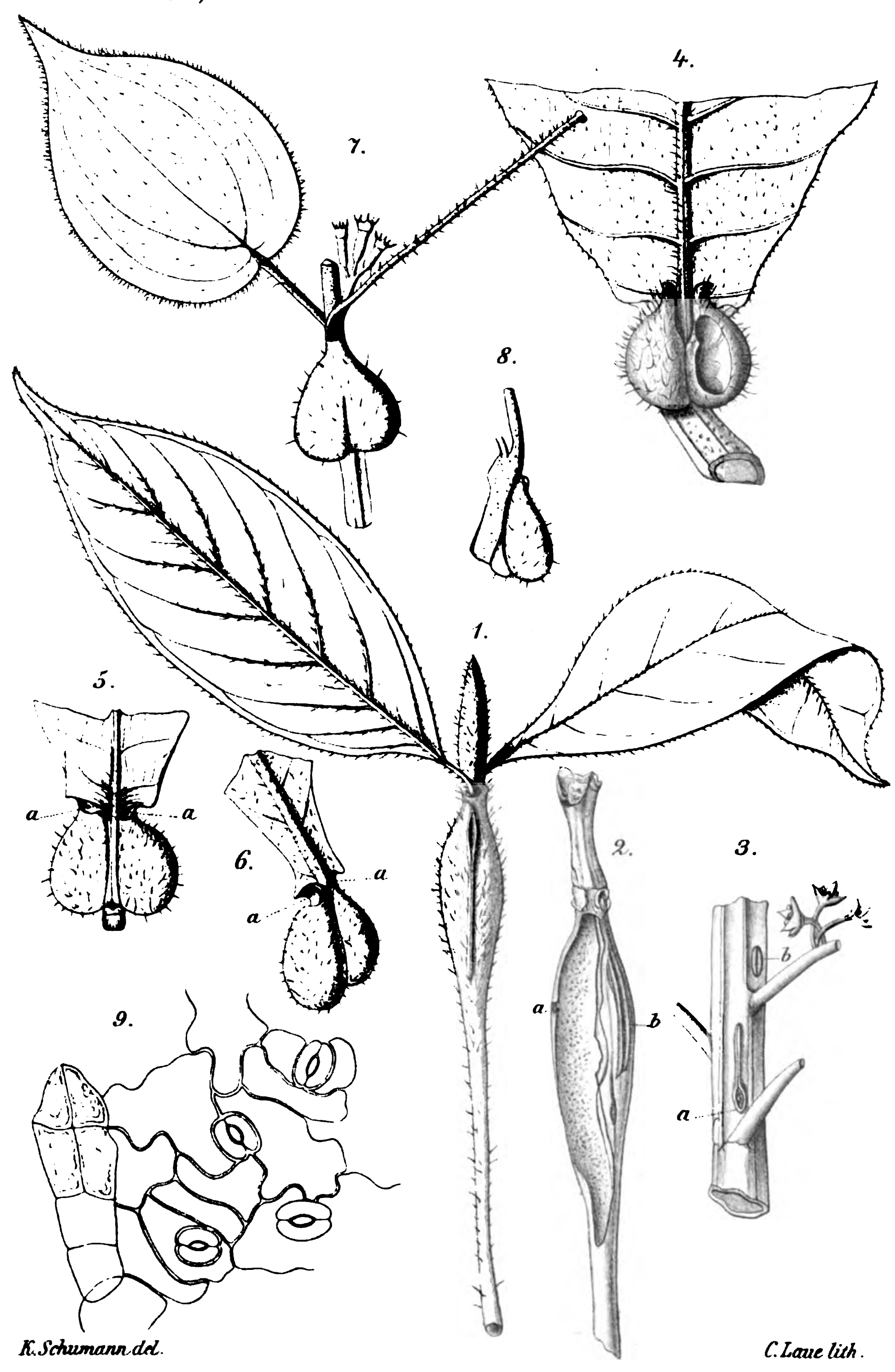
Went del. C. Laue lith.

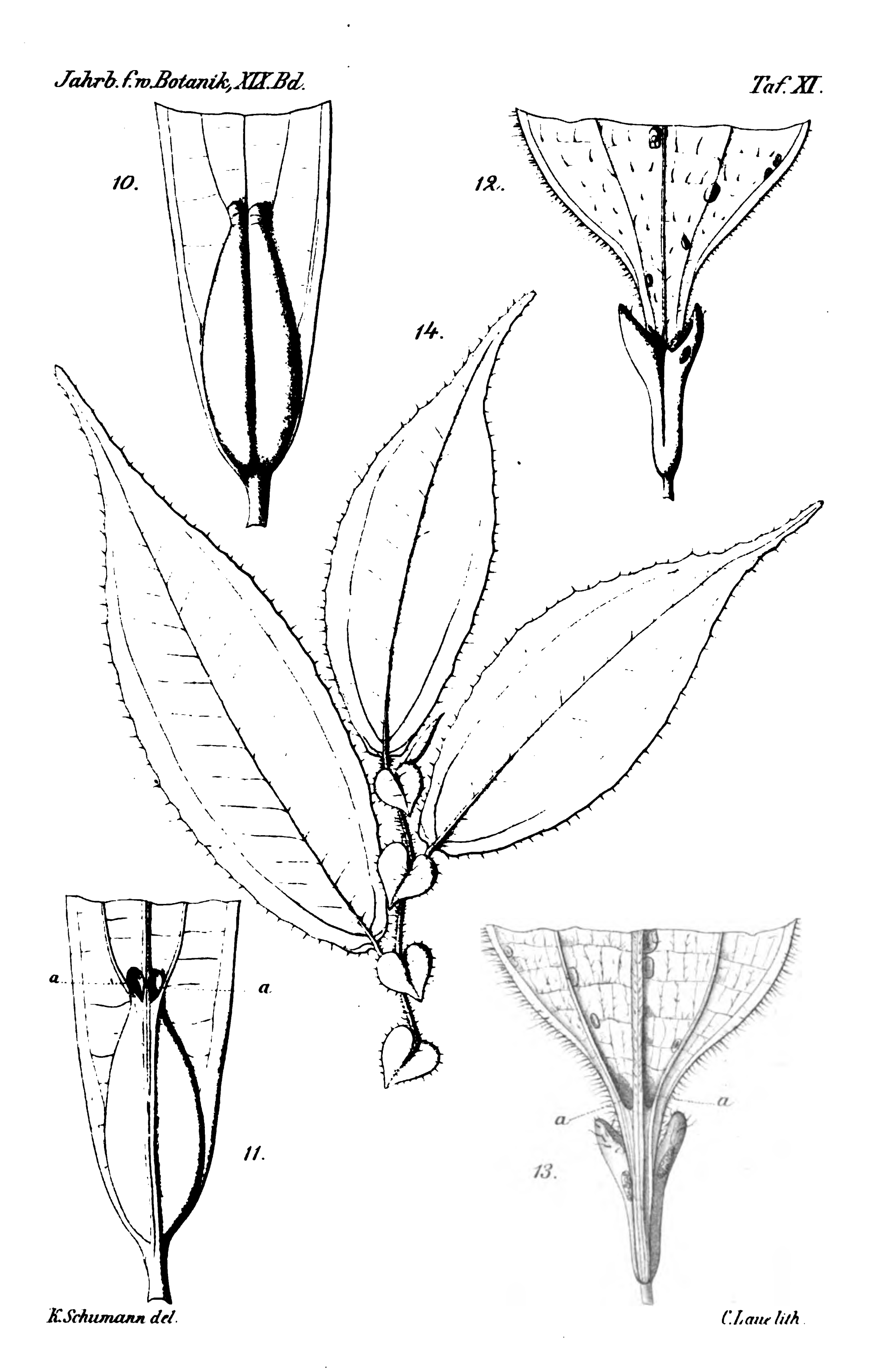


Went del. C. Laue lith.



Went del. C. Laue lith.


1.
2.
3.
4.
5.
6.
7.
8.
9.
a
b
K. Schumann del.
C. Laue lith.


10.
12.
14.
a
a
11.
a
a
13.
K. Schumann del.
C. Laue lith.

Inhalt des vorliegenden 3. Heftes, Band XIX.

Inhalt des vorhergehenden 1. u. 2. Heftes, Band XIX.

Correspondenten und Einsendern von Manuscripten zur gefälligen Kenntnissnahme, dass meine gegenwärtige Adresse ist:

Berlin W. Königin-Augustastrasse 49.

Im März 1887.

Pringsheim.

Verlag von **Gebrüder Borntraeger** in Berlin.

Berichte
der Deutschen Botanischen Gesellschaft.

Band I bis IV (1883—1886) à 15 Mark.
Band V und VI (1887—1888) à 20 Mark.

Inhalt der ersten sechs Hefte von Band VI.

A. Tschirch: Ueber die Entwicklungsgeschichte einiger Secretbehälter und die Genesis ihrer Secrete. (Mit Tafel). — J. Reinke: Die braunen Algen (Fucaceen und Phaeosporeen) der Kieler Bucht. — Carl Müller: Ueber phloëmständige Secretkanäle der Umbelliferen und Araliaceen. (Mit Tafel). — Julius Wiesner: Zur Eiweissreaction und Struktur der Zellmembran. — Franz Schütt: Ueber das Phycoerythrin. (Mit Tafel). — N. W. Diakonow: Ein neues Gefäss zum Cultiviren der niederen Organismen. (Mit einem Holzschnitt). — K. Schumann: Einige Bemerkungen zur Morphologie der *Canna*blüthe. — C. E. Overton: Ueber den Conjugationsvorgang bei *Spirogyra*. (Mit Tafel). — G. Lagerheim: Zur Entwickelungsgeschichte des *Hydrurus*. (Mit 2 Holzschnitten). — H. Ambronn: Pleochroismus gefärbter Zellmembranen. (Mit 2 Holzschnitten). — Fritz Müller: Zweimännige Zingiberaceenblumen. (Mit 2 Holzschnitten). — P. Magnus: Ueber einige Arten der Gattung *Schinzia* Naeg. (Mit einem Holzschnitt). — Ernst H. L. Krause: Ueber die Rubi corylifolii. — Friedrich Hildebrand: Ueber die Bildung von Laubsprossen aus Blüthensprossen bei *Opuntia*. (Mit Tafel). — Alfred Fischer: Zur Eiweissreaction der Membran. — P. Ascherson: Berichtigung. — Th. Bokorny: Ueber Stärkebildung aus verschiedenen Stoffen. — N. W. Diakonow: Eine neue Inficirungsmethode. (Mit einem Holzschnitt). — G. Lagerheim: Ueber eine neue grasbewohnende *Puccinia*. (Mit einem Holzschnitt). — E. Askenasy: Ueber die Entwickelung von *Pediastrum*. (Mit Tafel). — A. Tschirch: Ueber die Inhaltstoffe der Zellen des Arillus von *Myristica fragans* Hott. — P. F. Reinsch: Species et genera nova Algarum ex insula Georgia australi. — Franz von Höhnel: Ueber das Material, welches zur Bildung des arabischen Gummis in der Pflanze dient. — H. Klebahn: Ueber die Zygosporen einiger Conjugaten. (Mit Tafel). — Hermann Vöchting: Ueber den Einfluss der stralenden Wärme auf die Blüthenentfaltung der *Magnolia*. (Mit Tafel). — Franz Buchenau: Doppelspreitige Laubblätter. (Mit Tafel). — Julius Wiesner: Ueber den Nachweis der Eiweisskörper in den Pflanzenzellen. — F. Werminski: Ueber die Natur der Aleuronkörper. (Mit Tafel). — W. Palladin; Ueber Eiweisszersetzung in den Pflanzen bei Abwesenheit von freiem Sauerstoff. — J. Reinke: Ueber die Gestalt der Chromatophoren bei einigen Phaeosporeen. (Mit Tafel). — Ernst Ebermayer: Warum enthalten die Waldbäume keine Nitrate? — Robert Hartig: Ueber die Wasserleitung im Splintholze der Bäume.

JUST'S

BOTANISCHER JAHRESBERICHT

herausgegeben von

Dr. E. Koehne in Berlin-Friedenau und **Dr. Th. Geyler** in Frankfurt a. M.

XIII. Band (1885). II. Abth., 2. Heft (Schluss). Preis 18 Mark.

Preis des completen 13. Bandes (4 Hefte) 52 Mark.

Das erste Heft des 14. Jahrganges erscheint Anfang September.

Druck von G. Bernstein in Berlin.

JAHRBÜCHER

für

wissenschaftliche Botanik.

Herausgegeben

von

Dr. N. Pringsheim.

Neunzehnter Band. Viertes Heft.
Mit 9 lithographirten Tafeln.

Berlin, 1888.
Verlag von Gebrüder Borntraeger
Ed. Eggers.

Studien über die Inhaltskörper der Pflanzenzelle.

Von

J. H. Wakker.

Hierzu Tafel XII—XV.

Einleitung.

Nach der Entdeckung der Amyloplaste und der Umgrenzung der Vacuolenwand als eigenes Organ des Protoplasmas unter dem Namen Tonoplast war die Frage nach der inneren Organisation des Hauptbestandtheiles jeder lebenden Zelle in den Vordergrund getreten. Als darauf die Allgemeinheit der Protoplasmabewegung bewiesen und ihre hohe Bedeutung für das Pflanzenleben klar gezeigt wurde, war die Frage ihrer Lösung insoweit etwas näher getreten, als der allerdings schon bekannte Unterschied zwischen Hautschicht und Körnerplasma nicht nur verallgemeinert wurde, sondern auch eine hohe physiologische Bedeutung erhielt.

Der Stand unserer Kenntnisse des anatomisch-physiologischen Baues des Plasmas war demnach wie folgt:

1. die Hautschicht oder das hyaline Plasma, welches wohl hauptsächlich nur als ein schützendes Organ für die übrigen Theile Bedeutung hat und zu diesem Zweck auch die Zellmembran bildet,

2. das körnige oder strömende Plasma, welches den Nährstofftransport besorgt,

3. der Kern, dessen Bedeutung noch nicht experimentell festgestellt,

4. die Amyloplaste, wozu die von allen Theilen am längsten bekannten Chlorophyllkörner gehören, und

5. der Tonoplast, welchem die Bildung des Turgors beauftragt ist. Im Laufe dieser Abhandlung werden wir sehen, dass dem letzten Organ noch zahlreiche andere wichtige Funktionen aufgetragen sind.

Von der Bildung des Oels, des Aleurons, der Krystalloide und der Krystalle, um nur die wichtigeren Bestandtheile der Zelle zu nennen, konnte in der vorhergehenden Aufzählung der Plasmauntertheile nicht die Rede sein, weil über den Ort ihrer Entstehung oder Ablagerung noch keine genügende Untersuchungen angestellt waren. Diese Lücke auszufüllen ist Zweck dieser Arbeit.

Ihr erster Theil ist dem oxalsauren Kalk gewidmet; das Eiweiss findet sich im zweiten und das fette Oel im dritten Theile besprochen [1]).

I. Theil.

Der oxalsaure Kalk.

Bevor ich meine eigenen Untersuchungen mittheile, lasse ich einige Literaturangaben folgen, welche zur Genüge zeigen werden, dass über die Ablagerung dieses Stoffes sich die verschiedensten Meinungen vorfinden:

„Viel häufiger sind indessen in dieser Klasse Krystalldrusen, die sich einem Kern von protoplasmatischer Substanz auflagern (z. B. Cotyledonen von Cardiospermum Halicababum), wobei die einzelnen Individuen nur an den freien Aussenseiten vollständig ausgebildet sind. Zuweilen, (z. B. in den Haaren von Cucurbita) sieht man auch kleine, schön und allseitig ausgebildete Krystalle im circulirenden Protoplasma eingeschlossen“ [2]).

„Die geringe Consistenz des Protoplasmas und die Eigenschaft dieses, eine Wunde sogleich zu schliessen, ermöglichen einen solchen Austausch, welcher gelegentlich auch zwischen Protoplasma und Zellsaft sich abspielt, indem Stärkekörner, Krystalle u. dgl. geformte

1) Vorläufige Mittheilungen finden sich im Maandblad voor Natuurwetenschappen 1886, Nr. 7 und 8, und 1887, Nr. 5 und 6.

2) Sachs, Lehrb. der Botanik 1874, p. 67.

Körper ihren Weg aus dem Protoplasma in den Zellsaft oder in umgekehrter Richtung finden"[1]).

„Von den Salzen der genannten Säuren scheint in der Pflanze in unlöslicher Form nur Calciumoxalat vorzukommen, dessen Krystalle allerdings ungemein verbreitet, im Zellsaft und Protoplasma, zuweilen auch in der Zellhaut sich finden, jedoch nicht gerade in jeder Pflanze vorhanden sein müssen"[2]).

„Ces cristaux se forment tantôt dans le protoplasma général, tantôt dans des leucites speciaux[3]), cristalligènes, qui peuvent être des chromoleucites. Ainsi dans la feuille du Lepanthes cochlearifolia, on trouve des leucites roses qui produisent chacun un groupe de cristaux radiés, puis disparaissent. Nés dans le protoplasma général, ils peuvent aussi se trouver plus tard inclus dans des leucites. Nous avons vu, en effet, que les cristaux d'oxalate de chaux, simples on maclés, libres au moment où ils se forment dans les cellules des graines en voie de maturation, sont bientôt enfermés dans les graines d'aleurone. Ils peuvent même comme dans la Vigne, être d'abord enclavés dans un globoïde, lequel à son tour est enveloppé par la substance albuminoïde du leucite. Dans tous les cas, ils retiennent autour d'eux une fine pellicule protoplasmique, qui subsiste après leur dissolution dans un acide; les groupes radiés ont aussi au centre un petit noyau protoplasmique.

Une fois formés, les cristaux d'oxalate de chaux ne se redissolvent pas; ils ont donc s'accumulant sans cesse dans le corps de la plante et peuvent y atteindre une proportion considérable"[4]).

„Qualche volta ho anche potuto notare che questi cristallini" (d. h. der Salviaarten) „seguivano le correnti protoplasmatiche il che

1) Pfeffer, Physiologie 1881, p. 41.

2) l. c. p. 302.

3) Ebenso unrichtig wie diese Behauptungen über die Bildung der Krystalle ist das vorher im Texte mitgetheilte über ihre Zusammensetzung. Wohl alle dort als Calciumsulphat oder Carbonat aufgeführten Bildungen gehören dem Calciumoxalat, wie dies für viele schon von Holzner gezeigt wurde. Ich habe die Krystalle von Musa und Quercus Suber untersucht und fand sie immer löslich und zwar ohne Gasentwickelung in verdünnter Salzsäure und unlöslich in Essigsäure; hierdurch wird wohl jeder Zweifel über ihre Zusammensetzung beseitigt.

4) van Tieghem, Traité de Botanique 1884, p. 526.

dimostra che nuotano nel protoplasma. Del resto ne è un altra prova il trovarli ammassati in glomeruli nel protoplasma contratto. Essi si formano dunque nel protoplasma" [1]).

Diese Verschiedenheit der Meinungen machte eine gründliche Untersuchung der in Rede stehenden Inhaltskörper nothwendig. Ich habe darum bei einer Anzahl Pflanzen den Ort zu bestimmen gesucht, wo sich die Calciumoxalatkrystalle ausbilden und gebe in den nächstfolgenden Seiten eine genauere Beschreibung einiger Fälle, um schliesslich eine Uebersichtstabelle aller untersuchten Pflanzen und Pflanzentheile zu geben. Die befolgte Methode geht aus der Beschreibung der Specialfälle genügend hervor und war im Wesentlichen für alle Pflanzen dieselbe.

Ueberall, wo eine einfache Betrachtung der jungen Zellen keine genügende Gewissheit über den Ablagerungsort dieser Einschlüsse gab, benutzte ich die von de Vries [2]) in die Wissenschaft eingeführte Methode der Trennung des Plasmas und der Vacuole mittelst starker Salzlösungen.

I. Abschnitt.

Die Bildung des oxalsauren Kalkes.

Martynia formosa.

Diese Pflanze führt sehr lange Haare auf allen ihren Theilen. Sie sitzen mit breiter Basis der Epidermis auf und bestehen aus abgestumpft-kegelförmigen Zellen, welche aneinander gereiht sind und nach oben in einige kleinere chlorophyllführende Zellen übergehen, welche ihrerseits wieder fächerartig geordnete Drüsenzellen tragen. Das Secret dieser Zellen ist sehr klebrig. Die grossen abgestumpft-kegelförmigen Zellen besitzen eine derbe Wand und ein sehr schönes Plasma, von welchem zahlreiche Arme durch die grosse centrale Vacuole hindurch gehen. Sie zeigen fast porträtgemäss das schöne Bild, welches Sachs [3]) von den Haaren von Cucurbita gegeben

1) A. Poli. I cristalli di ossalato calcico nelle piante, Roma 1882.

2) Plasmolytische Studien über die Wand der Vacuolen. Diese Jahrb. Bd. XVI, Heft 4, 1885.

3) Vorlesungen über Pflanzenphysiologie p. 752, Fig. 361.

hat. Sie führen kein Chlorophyll, doch enthalten sie fast immer eine grosse Anzahl kleiner Stäbchen, welche grosse Uebereinstimmung zeigen mit denjenigen, welche de Bary[1]) in anderen Pflanzenhaaren gefunden hat. In den Fällen, wo Protoplasmabewegung zu constatiren war, wurden diese Stäbchen aber nicht mitgeschleppt, sondern blieben immer in eigenthümlicher Weise zusammengehäuft an gewissen Stellen liegen. Hierüber später noch Näheres. Verschiedene Haarzellen zeigen auch kleine Octaeder; immer aber nur eine oder einige wenige, während die Stäbchen in ungeheurer Menge vorkommen. Beide Formen lösen sich in verdünnter Salzsäure ohne Gasentwickelung und ohne Quellung.

Obwohl die Betrachtung der unveränderten Zellen unter dem Mikroskop in 4 % Zuckerlösung fast deutlich genug zeigt, dass die Stäbchen nicht im Plasma liegen, so schien es mir doch wünschenswerth, nach der de Vries'schen Methode die Vacuole zu isoliren. Ich brachte dazu Haare von jungen Blattstielen in 10 % Salpeterlösung mit Eosin.

Nach kürzerer oder längerer Zeit sonderten sich überall die lebenden Vacuolen vom todten Plasma, es sei, dass dieses plötzlich erstarrt war, oder sich erst contrahirt hatte; überall nahmen die Stäbchen genau die Mitte der Vacuole ein. Das Plasma war immer roth gefärbt. Die Stäbchen zeigten oft lebhafte Molecularbewegung.

Es giebt ein sehr einfaches Mittel um zu zeigen, dass die Stäbchen wirklich frei in der Vacuole liegen und nicht, wie man etwa meinen könnte, im Plasma der Vacuolenwand angedrückt. Wie gesagt nehmen sie immer die Mitte der Vacuole ein, und man kann sich leicht durch die Schraube des Mikroskops überzeugen, dass sie immer an der tiefsten Stelle beisammen liegen. Es ist deutlich, dass dieses durch die Schwere verursacht wird, und ebenso klar, dass eine veränderte Lage der Vacuole auch eine Veränderung der Lage der Stäbchen herbeiführen muss. Um dieses zu zeigen, benutzte ich ein Umlege-Mikroskop.

Bei Horizontalstellung des Objecttisches und also auch des Präparates, zeigte die Vacuole das schon beschriebene Bild (Taf. XII, Fig. 1A).

---

1) Vorlesungen über Bacterien, 1885, p. 38.

Bei Drehung um 90° änderte sich aber die Sache: alle Stäbchen begaben sich schnell nach der scheinbar nach oben, in Wirklichkeit aber nach unten gerichteten Seite der Vacuole (Fig. 1B). Beim Zurückdrehen kehren auch die Stäbchen in ihre ursprüngliche Lage zurück. Ich habe diesen Versuch mit zahlreichen Vacuolen genommen und immer mit dem gleichen Resultat.

Schliesslich muss noch erwähnt werden, dass ich in den Haaren von Martynia die lebende Vacuole mit ihren Stäbchen aus dem todten Plasma habe austreten sehen. Die Zelle kam zur Beobachtung, während ihr Plasma contrahirt und roth gefärbt war; an einer Stelle trat die Vacuole als gespannte farblose Blase immer weiter nach aussen. In ihr zeigten sich zahllose Stäbchen; im todten rothen Plasma fand sich kein einziges.

Ganz ähnliche Bilder, wie Martynia, gaben die ebenfalls stäbchenenthaltenden Haarzellen von Ballota hirsuta und Stachys lanata.

Es kann nach dem oben Mitgetheilten keinem Zweifel mehr unterliegen, dass die Stäbchen innerhalb der Vacuolen liegen.

Nicotiana Tabacum.

Die Haare dieser Pflanze sind denen von Martynia der Hauptsache nach gleich. Sie sind aber viel kleiner, führen weniger Stäbchen und mehr Octaeder und die Drüsenzellen am Ende des Haares sind mauerförmig geordnet. Sie verhalten sich den plasmolytischen Reagentien gegenüber auch wie die der genannten Pflanze. Es gelingt auch hier, die beiden genannten Krystallformen in der lebenden Vacuole liegen zu sehen, während das übrige Plasma todt und gefärbt erscheint, die Vacuole aus dem todten Plasma auskriechen zu sehen und die Krystalle unter dem Einflusse der Schwerkraft durch die Vacuole wandern zu lassen.

Eine Zelle eines Drüsenhaares des jungen Stengels kam zur Beobachtung in den in Fig. 2, Taf. XII abgebildeten Zustand. Während der Plasmolyse war das Plasma in zwei Theile zerfallen, von denen der eine an der Basis der Zelle einige Zeit lebendig blieb, während des Versuches aber starb. Der zweite Theil ist wichtiger für unseren Zweck. Das Plasma war gestorben und geröthet, eine grosse Vacuole theilweise ausgetreten mit einem darin enthaltenen Krystall a, während zahlreiche kleine Vacuolen (von welchen nur

eine gezeichnet wurde) und der Kern im todten Plasma liegen geblieben sind. Die kleinen Vacuolen enthielten alle je ein Stäbchen. In der grossen Vacuole lag noch ein sonderbar gebildeter Krystall a^1 in dem vom rothen Plasma verdeckten Theil. Jetzt wurde das Mikroskop um 90° umgelegt; das Präparat erhielt aber dadurch eine verticale Stellung und die beiden Krystalle der grossen Vacuole fingen an ihre Lage zu ändern, bis sie die niedersten Stellen b und b^1 der Vacuolen erreicht hatten. Jetzt wurde das Mikroskop wieder zurückgedreht und der Krystall in b nahm seine ursprüngliche Lage a wieder ein; der andere wanderte aber von b^1 nach c^1 und kam also neben dem Krystall a zu liegen. Die Wege der Krystalle sind durch punktirte Linien bezeichnet. Die Octaeder etc. von Nicotiana verhalten sich also wie die Stäbchen von Martynia.

Mesembryanthemum crystallinum.

Diese Pflanze leistete mir ausgezeichnete Dienste beim Studium der Rhaphiden. Sie finden sich überall in den vegetativen Theilen, besonders schön aber im Marke des Stengels. Eigenthümlicherweise sind sie hier nicht parallel in Bündeln dicht aneinander gelegt in jeder Zelle zu finden, sondern bilden Agglomerate von der Gestalt eines Polygons (Taf. XII, Fig. 3), von dessen Ecken die Rhaphiden als Strahlen ausgehen. Bisweilen findet man auch die gewöhnlichen Bündel oder andere Configurationen. Die Rhaphidenschläuche in den älteren erwachsenen Internodien sind todt, doch behalten sie länger als solche Zellen in anderen Pflanzen ihr Protoplasma.

Ich benutzte zu meinen Untersuchungen von Freilandpflanzen anfangs November abgeschnittene Zweige, welche in einem Gefäss mit Wasser im geheizten Zimmer am Fenster aufgestellt, rasch wuchsen. Längsschnitte der jüngsten in raschem Wachsthum begriffenen Internodien wurden in mittelst Eosin rothgefärbter 10°/₀ Salpeterlösung gebracht. Die jüngsten schon Rhaphiden führenden Zellen zeigten öfters eine lebende farblose Vacuole im todten und rothgefärbten erstarrten Plasma, oder eine solche im contrahirten Plasma (Taf. XII, Fig. 4). In beiden Gruppen von Fällen waren die jungen Rhaphiden deutlich innerhalb der Vacuole zu sehen. Sie haben hier noch nicht ihre eigenthümliche Lage angenommen. In älteren Zellen tritt das Plasma in Volum sehr gegen die Vacuole zurück; es bildet

aber immer noch eine zusammenhängende Schicht um diese. Eine gänzliche Isolirung der Vacuole aus dem todten Plasma innerhalb der Zelle konnte ich nicht mit genügender Sicherheit beobachten; diese musste aber bisweilen eintreten, weil ich sehr oft gänzlich isolirte farblose Vacuolen aus denselben in der umgebenden rothen Flüssigkeit austreten sah. Ich kam durch letzteres auf den Gedanken, plasmolysirte Präparate innerhalb der Salpeterlösung in kleine Stückchen zu zerschneiden und dadurch auch krystallführende Vacuolen zum Austreten zu bringen. Dieses gelang über alle Erwartung schön. Unter den zahllosen Vacuolen, welche überall den Rändern der Präparate anhingen oder frei in der Flüssigkeit umherschwammen, müssen hier zwei, welche Rhaphiden enthielten, erwähnt werden. Die eine kam zur Beobachtung, während die Vacuole theilweise aus der angeschnittenen Zelle in der umgebenden Flüssigkeit hinausragte. Die Vacuole platzte aber, bevor sie ganz ausgetreten war. Eine andere Vacuole (Taf. XII, Fig. 3) war ganz mit ihren Krystallen aus dem Rande qq^1 des Präparates hervorgetreten und lag als farblose Kugel in der rothen Flüssigkeit. Auch sie platzte, während ich sie zu zeichnen anfangen wollte; die beigegebene Figur ist also aus der Erinnerung hinzugefügt.

Aus allem Obengesagten erhellt deutlich, dass sich die Rhaphiden bei Mesembryanthemum crystallinum innerhalb der Vacuolen ausbilden und hier auch ihre eigenthümliche Lagerung einnehmen.

Impatiens Sultani.

Diese Pflanze besitzt in ihrem Stengel zahlreiche Rhaphidenzellen. Sie finden sich sowohl im Marke wie in der Rinde und eigenthümlich genug auch in der Epidermis. Die letzteren sind immer sehr viel kleiner als die anderen, dementsprechend sind ihre Krystalle auch viel kleiner. Sie bilden sich viel später aus; jedenfalls sah ich in Präparaten, welche sowohl Epidermis als Rindengewebe enthielten, die Zellen der ersteren noch alle einander gleich und ohne Rhaphiden, während die des letzteren schon erwachsene Rhaphiden besassen. In den älteren Theilen des Stengels fand ich die Rhaphiden öfters in Zellen ohne Plasma; jedenfalls konnte solches durch Plasmolyse nicht mehr sichtbar gemacht werden.

Längsschnitte der Stengelspitze in mittelst Eosin rothgefärbter 10procentiger Salpeterlösung zeigen sehr instruktive Bilder, zumal wenn das Präparat ein wenig erwärmt wird.

Beobachtet man ohne weiteres die Zellen, wenn die Plasmolyse eingetreten ist, so bilden die Protoplasten sehr ungleich gestaltete, hier und da an der Zellwand anhängende unregelmässige Figuren; ausnahmsweise beobachtete ich die Rhaphiden innerhalb der grossen Vacuole eines normal plasmolysirten Protoplasten. Das Plasma war fast gänzlich an der einen Seite in einer linsenförmigen Erhabenheit angehäuft, welche sich in der Vacuole hervorwölbte.

Nach vorsichtigem Erwärmen treten aber die gewöhnlichen Bilder auf.

Ich beobachtete zwei anstossende Zellen. In der einen fanden sich zwei isolirte Vacuolen, von welchen die eine zahlreiche junge Rhaphiden enthielt und die andere davon ganz frei war; in der zweiten Zelle fand sich noch ein contrahirter Protoplast mit grosser Vacuole ohne Nadeln und eine isolirte Vacuole mit zahlreichen jungen Rhaphiden.

Die älteren Rhaphidenzellen zeigen oft ein auch für Anthurium Hookeri (siehe später) geschildertes Verhalten. Ihre Spitzen ragen aus dem contrahirten farblosen Plasma hervor (Taf. XII, Fig. 5A). Bei Erwärmung solcher Zellen unter dem Mikroskop beobachtete ich, wie der Plasmasack sich ausdehnte, endlich mit der Zellwand in Berührung kam und sich dann plötzlich roth färbte, oder wie das Plasma in solchen Zellen plötzlich erstarrte und sich roth färbte (Fig. 5B).

In den nicht Rhaphiden führenden Zellen der Epidermis fand ich bisweilen kleine Octaeder und vielfach andere kleine Krystalle, die alle in der schon öfters beschriebenen Weise immer nach Isolirung der Vacuole an deren tiefste Stelle lagen.

Hoya carnosa.

In den jüngsten Blättern dieser Pflanze findet man in vielen Zellen sehr kleine Gebilde, deren einige mehr oder weniger Krystallform zeigen, viele aber amorph zu sein scheinen. Durch Plasmolyse mittelst 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin gelingt es leicht, das Plasma zu tödten und die Vacuole lebendig mit gespannter Wand

zu erhalten. Die kleinen Krystalle zeigen sich dann immer innerhalb der Vacuole, wo sie öfters in Molecularbewegung sind (Taf. XII, Fig. 7).

Mit Gewissheit kann ich nicht behaupten, dass sie aus oxalsaurem Kalk bestehen; doch ist dies im höchsten Grade wahrscheinlich: Erstens weil sie öfters die charakteristischen Krystallformen dieses Salzes zeigen, und zweitens weil es das gemeinste, vielleicht das einzige Salz ist, welches sich in der Vacuole ausscheidet.

In halberwachsenen Blättern finden sich die erwünschten Stadien: Krystalldrusen finden sich hier innerhalb der Vacuolen, gänzlich wie es für Stäbchen und Rhaphiden beschrieben wurde. Allerdings sind sie selten; denn die meisten Drusen sind schon fertig gebildet und in sehr vielen Zellen finden sich noch die kleinen Körperchen öfters in ziemlich grosser Anzahl und dadurch ein wenig an die Jugendstadien der Körnerschläuche erinnernd. Es gelang mir mittelst der üblichen plasmolysirenden Flüssigkeit, die Druse innerhalb der Vacuole liegen zu sehen, während das Plasma mit den Chlorophyllkörnern sich an der einen Seite der Vacuole zusammengezogen hatte oder erstarrt war (Taf. XII, Fig. 6).

Citrus Aurantium.

Diese Pflanze besitzt die bekannten, schon von Pfitzer[1]) studirten monosymmetrischen Krystalle in den Blättern. Sie finden sich hauptsächlich in der subepidermalen Parenchymschicht, welche ausschliesslich aus gänzlich hyalinen Zellen besteht und niemals Chlorophyll führt. Diejenigen, welche einen Krystall enthalten, sind immer grösser als die übrigen. Bekanntlich sind die Krystalle im erwachsenen Blatte durch eine dicke Celluloseschicht mit der Zellwand verbunden; jene bildet sich aus, nachdem der Krystall völlig erwachsen ist. Meine eigenen Beobachtungen stimmen ganz und gar mit diesen der Abhandlung des genannten Autors entnommenen Mittheilungen überein. Bekanntlich unterliess er es aber, die Frage nach dem Bildungsort der Krystalle zu entscheiden.

Es gelang mir nun nach der schon öfters beschriebenen plasmolytischen Methode zu zeigen, dass auch hier die Krystalle innerhalb der Vacuole liegen.

1) Flora 1872, No. 7.

Ich untersuchte anfangs einen 10 mm langen Blattstiel. Die Krystalle waren hier schon ausgebildet, hatten aber jedenfalls noch nicht ihre volle Grösse erreicht. Von der Celluloseverdickung war noch nichts zu sehen. Ich studirte die Querschnitte anfangs in 4procentiger Rohrzuckerlösung, konnte aber in dieser Flüssigkeit keine Gewissheit über den Bildungsort erlangen. Untersucht in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin trat anfangs normale regelmässige Plasmolyse ein. Die Krystalle zeigten sich an beliebigen Stellen und viele wechselten während der Beobachtung fortwährend ihre Lage. Mit dem Umlegemikroskop untersucht konnte in vielen Fällen keine Bewegung unter dem Einfluss der Schwere constatirt werden, wahrscheinlich der Kleinheit der Objecte halber. Bald fand aber die erwünschte Trennung statt. Es sonderte sich auch hier die Vacuolé als eine gespannte Blase, welche den Krystall enthielt, von dem todten rothen Plasma, welches in vielen Fällen halbmondförmig die Vacuole umgab (Taf. XII, Fig. 8).

Auch für diese Krystalle ist demnach gezeigt, dass sie innerhalb der Vacuole entstehen.

Ricinus communis.

Bekanntlich hat diese Pflanze im Marke ihres Stengels die viel besprochenen Rosanoff'schen Krystalldrusen. Die Drusen haben allerdings an und für sich nichts besonderes, aber sie sind durch eigenthümliche Zellstoffbalken mit den Zellmembranen verbunden. Es wäre immerhin besser, diese Balken als Rosanoff'sche Balken zu unterscheiden, und so werden wir sie denn weiter auch nennen. Wenn die Balken da sind, führen die betreffenden Zellen kein Plasma mehr. Letztere sind immer oder meistentheils in Längsreihen angeordnet und stets viel kleiner als die übrigen Parenchymzellen des Marks. Sie sind daher auch in dem Jugendzustand des Stengels leicht zu unterscheiden.

Ich untersuchte eine im Dunkeln austreibende überwinternde Pflanze. Längsschnitte des jungen wachsenden Stengelstückes wurden auch hier mittelst eosinrother 10procentiger Salpeterlösung plasmolysirt und nachher untersucht. In den allerjüngsten noch nicht in die Länge wachsenden Internodien fanden sich noch keine Drusen.

In den Nodis waren sie, wie es auch sonst der Fall zu sein pflegt, schon ausgebildet. In den schnell in die Länge wachsenden Stengeltheilen waren relativ leicht die jungen Stadien der Drusenzellenreihen aufzufinden. In zahlreichen Präparaten konnte ich in den plasmolysirten Zellen beobachten, dass auch hier die Drusen sich in den Vacuolen bilden und dass die später mit der Wand verbundenen Krystalle sich also ganz so verhalten wie jene, welche, wie bei Begonia (siehe später), im erwachsenen Zustande frei in der Zelle liegen. Von der Bildung der Balken, welche Rosanoff bekanntlich nicht ermittelt hat, wird später noch ausführlich die Rede sein. Wir werden erst die anderen Fälle untersuchen und zeigen, dass sie sich ganz so wie Ricinus verhalten. Dieses gilt z. B. für Kerria japonica und Philodendronarten, wo ich die nämlichen Resultate erhielt.

Vanilla planifolia.

Diese Pflanze führt in jeder Epidermiszelle ihres Blattes einen Krystall: gewöhnlich einen schön ausgebildeten Octaeder, bisweilen eine Säule und öfters Combinationen von beiden. Ich hatte anfangs nur alte Blätter zur Disposition, deren Epidermis ich in 10procentiger Salpeterlösung beobachtete. Es dauert sehr lange, bisweilen mehr als $2^1/_2$ Stunden, bis die Lösung in die Zellen ganz eingedrungen; in einem Falle war das Eosin gar nicht eingedrungen. Das Plasma war jedoch ohne Zweifel todt und contrahirt: die Krystalle lagen in der Vacuole. Ich sah nur eine Ausnahme, welche vielleicht zu erklären ist durch Annahme einer kleineren nicht sichtbaren Vacuole, deren es wahrscheinlich im Plasma mehr giebt, ohne dass sie deutlich unterschieden werden konnten, weil keine Rothfärbung stattgefunden hatte.

Später untersuchte ich die Epidermis eines halberwachsenen Blattes; es zeigten sich hier noch keine Krystalle. Ein Blattstück wurde in einer Schale in 4procentiger Zuckerlösung aufbewahrt und nach ein paar Tagen wieder untersucht, und jetzt fanden sich merkwürdiger Weise in fast allen Zellen der Oberhaut sowohl der Ober- wie der Unterseite sehr kleine Octaeder vor. Im Blattstücke, welches mit der Pflanze in Verbindung geblieben war, hatten sich zu dieser

Zeit noch keine Krystalle gebildet. In 10- und 20procentiger Salpeterlösung untersucht gelingt es leicht Zellen zu finden, in welchen das Plasma getödtet ist, während die lebende Vacuole sammt dem Krystall aus dem todten gefärbten Plasmakörper hervorgekrochen ist (Taf. XIII, Fig. 1). Bringt man die Vacuole durch Wärme zum Platzen, so gelangt der Krystall frei in das Zelllumen (Fig. 2). In anderen Zellen erstarrt das Plasma momentan, während die Vacuole lebendig bleibt und am tiefsten Punkt zeigt sich dann wieder der Krystall.

Ungefähr eine Woche später zeigte auch das an der Pflanze verbliebene Stück des nämlichen Blattes die Anfänge der Krystalle und es gelang leicht, hier die gleichen Bilder, wie die oben beschriebenen, zum Vorschein zu rufen.

Unsere Vanilla ist so ausserordentlich reich an oxalsaurem Kalk, dass nothwendig noch einige andere Gewebe in dieser Hinsicht besprochen werden müssen.

Auch in den Epidermiszellen der Wurzel finden sich in nicht zu jungen Theilen gewöhnlich säulenförmige Krystalle, welche hauptsächlich darum erwähnt werden müssen, weil sie eine in der Literatur für andere dergleichen Gebilde oft besprochene Bewegung zeigen: sie werden nämlich in vielen Zellen von den oft lebhaften Protoplasmaströmungen mitgeschleppt. Trotzdem lagen sie nicht im Protoplasma, wovon man sich durch Plasmolyse leicht überzeugen kann. Allerdings gelingt es ziemlich selten, bei dem Tode des Plasmas die Vacuolenwand lebendig zu erhalten, doch in den Zellen, wo dies bei Einwirkung einer eosinrothen 10procentigen Salpeterlösung stattfindet, überzeugt man sich leicht, dass die Krystalle innerhalb der Vacuole liegen, doch dass sie öfters der Wand der letzteren fest verklebt sind. Es ist nur hierdurch möglich, dass sie durch das bewegliche Plasma mit in Circulation gesetzt werden (Taf. XII, Fig. 10).

Ausser den Krystallen in den Epidermiszellen der Blätter führt Vanilla in allen ihren Theilen noch Rhaphiden. In den Blättern in einzelnen zerstreuten Zellen; in den Wurzeln aber in langen Zellenreihen, die ebenso wie bei Tradescantia etc. zu Rhaphidenschläuchen werden. Die jüngeren Zustände findet man in der unmittelbaren Nähe des Vegetationspunktes. Längsschnitte der Wurzelspitze

in 4procentiger Rohrzuckerlösung untersucht geben immer sehr schöne Bilder. Ohne weitere Präparation sieht man in allen Krystallzellen, auch in den jüngsten, das Rhaphidenbündel r innerhalb der gewöhnlich sehr grossen Vacuole. Das Plasma zeigt sich als dünne, wandständige Schicht. Der Kern ist sehr gross; nur der Nucleolus aber ist scharf contourirt (Taf. XIII, Fig. 3).

Aehnliche Bilder lassen sich leicht erhalten von Hyacinthus orientalis und Tradescantia viridis.

Die Begonia-Arten.

Bekanntlich führen alle gewöhnlich zur Untersuchung kommenden Begonien grosse Mengen kleesauren Kalkes. Es findet sich ungefähr in allen parenchymatischen Geweben vor als grosse Krystalldrusen, welche aus einem centralen Octaeder bestehen, auf dem zahlreiche kleinere Krystalle aufgelagert sind. Am leichtesten der Untersuchung zugänglich und auch wohl meistentheils am grössten sind die Krystalldrusen des Markes des Stengels und des Blattstiels. In den älteren erwachsenen Organen sind die betreffenden Zellen wohl vielfach todt und also für eine Untersuchung nach der Lage der Krystalle in der lebenden Zelle nicht mehr brauchbar. Die Krystalle liegen dann ganz frei. Solches ist aber in dem jungen Stengel ganz anders. Die krystallführenden Zellen zeigen hier einen Protoplasten, der sich in nichts von den übrigen, eventuell nicht krystallführenden unterscheidet. Die Untersuchung nach dem Bildungsort dieser Krystalle wurde auch nach der schon oft genannten Methode, nämlich mittelst Plasmolyse in 10procentiger Salpeterlösung, welche mittelst Eosin roth gefärbt war, ausgeführt; sie ist hier jedoch mit einigen Schwierigkeiten verknüpft, welche nicht unerwähnt gelassen werden können. Der Zellsaft der Begonien ist nämlich so sauer, dass nicht nur alle Zellen von in der gewöhnlichen Weise angefertigten mikroskopischen Präparaten gleich sterben, wenn sie mit dem sauren Safte ihrer durchschnittenen Nachbarinnen in Berührung kommen, sondern dass auch das Eosin präcipitirt wird und also nur eine farblose Salpeterlösung übrig bleibt. Um diesem Uebelstande vorzubeugen, wurden die Stengelspitzen der Begonien immer erst frei präparirt und dann in einer 4procentigen Rohrzuckerlösung untergetaucht und in dieser Lage der Länge nach durch-

schnitten. Die beiden Hälften könnten dann zur Anfertigung der Präparate dienen. Zu diesem Zwecke wurde das Messer ganz mit der nämlichen Lösung angefeuchtet und die Schnitte gleich nach ihrer Herstellung in einer neuen Zuckerlösung abgespült. Nachdem sie hier noch einige Zeit verweilt hatten, konnten sie in die gefärbte Salpeterlösung übertragen werden, ohne eine Präcipitation des Eosins zu verursachen. Nach dieser Methode behandelte Präparate zeigten gewöhnlich die meisten Zellen in den bekannten Zuständen der Plasmolyse.

Ich untersuchte hauptsächlich Begonia macrophylla, doch habe ich gesehen, dass zahlreiche andere Arten sich ganz ebenso verhalten. Darüber später weiteres.

Längsschnitte der Stengelspitze der genannten Pflanze wurden in der beschriebenen Weise behandelt und zeigten mikroskopisch untersucht fast alle Zellen mit lebendem, contrahirtem Plasma. Es bildete eine dünne Schicht auf der sehr grossen Vacuole, innerhalb welcher sich in den meisten Zellen ein Octaeder befand. Wie gewöhnlich lag der Krystall auch hier immer an der tiefsten Stelle. Offenbar ist diese Lage durch die Schwerkraft bedingt, und es ist schon von vornherein klar, dass eine solche Lagerung unmöglich wäre, wenn der Krystall sich im Plasma selbst befände. Ausserdem kann man aber auch hier den Krystall innerhalb der Vacuole seine Lage wechseln sehen. Eine Zelle, welche zur Beobachtung kam, zeigte den Krystall in der mit Taf. XII, Fig. 1A übereinstimmenden Lage innerhalb des zu einer Kugel zusammengezogenen Protoplasten. Bei Vertikalstellung des Objectträgers mittelst des schon früher erwähnten Umlegemikroskops nahm der Krystall sehr schnell die mit B bezeichnete Stelle ein. Nach dem Zurückdrehen konnte ich den Krystall durch die Vacuole in seine ursprüngliche Lage zurückkehren sehen.

In einem anderen Präparate, welches viele hunderte von Zellen enthielt, jede mit einem Krystall, konnte ich fast alle Krystalle durch Umlegen des Mikroskops sich der Beobachtung entziehen lassen, weil sie sich hinter dem Plasmarande versteckten und beim Zurückdrehen alle wieder zum Vorschein treten sehen.

Untersucht man die allerjüngsten Zellen aus der Stengelspitze, welche zur Krystallbildung bestimmt sind, so findet man ausschliesslich sehr kleine Octaeder. Diese werden offenbar sehr schnell grösser,

denn in geringer Entfernung sind sie schon erwachsen. Neu hinzukommender Bildungsstoff vergrössert jetzt den ursprünglichen Krystall nicht mehr sondern, es fangen Unebenheiten auf den vorher vollends glatten Krystallflächen sich zu zeigen und die Bildung der eigentlichen Druse ist eingeleitet.

Ganz gleiche Bilder wie die oben für Begonia macrophylla beschriebenen erhielt ich aus der Stengelspitze von B. Rex, B. manicata, B. metallica, B. sanguinea und B. phyllomaniaca.

Anthurium Hookeri.

Diese Aroidee bildet in unserem Garten eine ziemlich kleine Pflanze mit einigen oberirdischen Stengeln, welche reichlich mit langgestielten, lanzettlichen Blättern und sehr verschieden langen Luftwurzeln besetzt sind. Blüthen zeigte das Exemplar nicht und desshalb beziehen sich meine Mittheilungen nur auf die vegetativen Theile der Pflanze. Alle diese strotzen von oxalsaurem Kalk. Ich untersuchte hauptsächlich die Wurzel, weil diese am leichtesten der Untersuchung zugänglich zu machen ist; doch lassen sich den nachher zu beschreibenden ähnliche Bilder auch vom Stengel und Blattstiel erhalten. In den Wurzeln findet sich das Kalksalz in vier verschiedenen Formen: In der nächsten Umgebung des Gefässbündels zeigen sich sehr zahlreiche kleine Zellen, die je eine grosse Krystalldruse enthalten; mehr nach der Peripherie der Wurzel findet man vereinzelte grosse, langgestreckte Zellen, welche ein Rhaphidenbündel führen, und in dem zwischenliegenden Parenchym finden sich öfters sehr kleine Octaeder und kurze, dicke Stäbchen oder Blättchen. Diese beiden letzteren Formen kommen in unbestimmter Zahl beisammen in einer Zelle vor, öfters auch sind sie nur gesondert zu finden. Sehr oft fehlen sie fast gänzlich oder auch ganz und gar.

Untersucht man einen Längsschnitt eines nicht zu alten Wurzeltheils in einer 4procentigen Rohrzuckerlösung, so lässt sich über die Lage der Krystalle nichts entscheiden; nach Plasmolyse ist dies aber ganz anders. Doch ist die Deutung auch jetzt noch mit zahlreichen Schwierigkeiten verknüpft, welche bei der Untersuchung anderer Pflanzen weniger in den Vordergrund treten. Alles Folgende bezieht sich auf Längsschnitte der Wurzelspitze in 10procentiger mit Eosin roth gefärbter Salpeterlösung.

Die Krystalldrusen liefern die grössten Schwierigkeiten. Das Plasma und die Vacuolenwand der diese Gebilde enthaltenden Zellen sterben nämlich immer gleichzeitig ab. In der 10procentigen Salpeterlösung können sie sehr lange lebendig bleiben, und auch beim vorsichtigsten Erwärmen des Präparats gelang mir eine Isolirung der Vacuole nicht. Doch kamen bisweilen Zellen zur Beobachtung, die zu unserem Zwecke brauchbar sind. Eine solche Zelle wurde im lebenden Zustande gezeichnet; die Vacuole war seitlich gelegen und in ihr eine sehr junge Druse. Durch Umlegung des Mikroskops gelang es, die Druse ihre Lage ändern zu lassen und beim Zurückdrehen sie in ihre ursprüngliche Lage zurückkehren zu sehen. Jetzt wurde das Präparat leise erwärmt; die Zelle starb und erstarrte; es trat der Kern als deutlich dunkler rother Fleck zum Vorschein. Der Krystall änderte seine Lage nicht. Als Resultat ergiebt sich, dass die Drusen innerhalb der Vacuole gebildet werden.

Merkwürdig ist jedenfalls noch, dass die jüngsten Stadien der Drusen, welche mit Gewissheit als solche erkannt werden können, schon eine sternförmige Gestalt haben und dass also hier nicht, wie bei Begonia, ein Octaeder zur erreichbaren Grösse heranwächst und dann erst durch Auflagerung zur Druse wird.

Die kleinen Octaeder und die kurzen Stäbchen sind leichter der Untersuchung zugänglich. Sie finden sich immer in grossen Parenchymzellen, welche während der Plasmolyse gewöhnlich theilweise sterben, d. h. die Vacuolenwand bleibt lebendig und das übrige Plasma stirbt momentan oder contrahirt sich vorher. Im letzteren Falle ist es natürlich dunkelroth gefärbt.

In einem Präparate fand sich eine Reihe von vier Zellen, deren Plasma momentan gestorben war: hier und da zeigten sich dunkelrothe Kerne und zahlreiche, sehr kleine Stärkekörnchen im erstarrten Plasma zerstreut. Die Vacuolen aller dieser vier Zellen waren lebendig geblieben; sie enthielten je einen kleinen Krystall. Diese nahmen, wie schon früher mehrmals beschrieben, die tiefste Stelle ein. Durch Umlegung des Mikroskops sah ich sie auch hier wieder ihre Lage wechseln und unter dem Einfluss der Schwere in der Vacuole untersinken. Beim Zurückdrehen platzten zwei Vacuolen,

doch in den beiden anderen kehrten die Krystalle in ihre ursprüngliche Lage zurück.

Allerdings konnte das Obengesagte auch für zahlreiche andere Zellen constatirt werden, jedoch nicht für alle. Zumal in einem Präparat nahmen die hier sehr zahlreichen Stäbchen und Octaeder in der Vacuole nicht die tiefste Stelle ein, sondern sie waren an indifferenten Stellen anscheinend ziemlich fest verbunden, ja es fanden sich welche, die sich deutlich am höchsten Punkte der Vacuole zeigten. Innerhalb des todten Plasmas fanden sich aber nie Krystalle.

Aus dieser Thatsache lässt sich schliessen, dass die Krystalle, welche unbeweglich in der Zelle waren, auch hier nicht im Plasma lagen, sondern innerhalb der Vacuole, doch anstatt frei, wie gewöhnlich, an die Wand festgeklebt. Eine grosse Vacuole, welche nur Octaeder enthielt, bestärkte mich in dieser Meinung. Einer der Octaeder fand sich nämlich auch hier wieder an der Wand, welche aber nicht rund war wie sonst, sondern über eine Spitze des Krystalls hinweg ging und genau die Gestalt der Spitze nachahmte. Solches wäre natürlich unmöglich, wenn der Octaeder nicht an die Wand festgeklebt war.

Die Rhaphiden liegen wie die übrigen Krystalle innerhalb einer Vacuole. Selbst in Zellen mit schon sehr grossen Rhaphiden ist diese noch leicht nachzuweisen. Ich beobachtete sehr viele Zellen. Gewöhnlich erstarrt das Plasma bei der Plasmolyse momentan und färbt sich roth, während die Vacuolenwand lebendig bleibt; bisweilen beobachtete ich Rhaphiden innerhalb der Vacuole des contrahirten lebendigen Plasmas. Beim Erwärmen eines Präparates mit solchen Zellen starben diese, die isolirten Vacuolen platzen und das contrahirte Plasma erstarrt und färbt sich roth. Oefters hat man dann auch Gelegenheit den Kern zu sehen, welcher vor dem Tode gewöhnlich im Plasma versteckt ist.

In sehr kleinen Zellen, in welchen sich lange Rhaphiden finden, kann man bisweilen ein sonderbares Ereigniss sehen. Das Protoplasma lag in meinen Präparaten in solchen Zellen als dünne Schicht sehr dicht dem Rhaphidenbündel an, war aber noch ungefärbt und, soviel mit Gewissheit beobachtet werden konnte, glattgespannt, also allem Anscheine nach noch lebendig, und doch stachen einige

Rhaphiden ganz durch das Plasma hindurch und ragten eine kleine Strecke in den Raum zwischen letzteres und der Zellwand hinein. Erst nach Abtödtung durch Hitze färbt das Plasma sich roth.

Die allerjüngsten Stadien der Rhaphidenzellen sind der Untersuchung so gut wie nicht zugänglich. Die Nadeln bilden sich nämlich zu gleicher Zeit in grosser Anzahl schon im Vegetationspunkt der Wurzel aus, und dergleichen ganz junge Zellen sind im plasmolysirten Zustande viel zu undurchsichtig, um Schlüsse über die Lage der Rhaphiden zu erlauben. Weil wir aber durch die Untersuchungen von Went[1]) wissen, dass die Vacuolen sich schon in den jüngsten Zellen vorfinden, so ist es ganz klar, dass die Entstehung der Krystalle auch hier nicht im Widerspruch mit meiner Ansicht steht.

In den älteren erwachsenen Theilen der Wurzel füllen die Drusen ihre Zellen ganz aus und das Protoplasma ist dann verschwunden; allerdings finden sich öfters in der Nähe dann noch lebendige krystallführende Zellen, doch ist es mir wahrscheinlich, dass auch diese schliesslich sterben. Auch die Rhaphiden liegen am Ende in Zellen ohne Plasma.

Schliesslich muss hier noch erwähnt werden, dass ich in einer solchen jungen Wurzelspitze auch ein paar Zellen beobachtete, welche anstatt eine mehrere Drusen enthielten. Sie waren von sehr verschiedener Grösse. Weil die erwachsenen Zellen immer nur einen Krystall enthalten, wäre es möglich zu denken, dass die fraglichen Zellen schon vor der letzten Theilung Drusen führten und dass diese auf ebenso viele Zellen vertheilt werden sollten. Ob dem so ist, kann ich leider nicht bestätigen; nur will ich noch bemerken, dass durch eine solche Annahme die Erklärung gegeben wäre von der Thatsache, dass die drusenführenden Zellen so oft in Längsreihen vorkommen.

Melianthus major.

Diese Pflanze führt ausserordentlich grosse prismatische Krystalle mit zugespitzten Enden. Sie sind für die Rinde von Vesque[2]) beschrieben; ich fand sie auch im Marke des Stengels und im Blatte. Wurzeln habe ich nicht untersucht. Sie bilden sich ganz

1) De jongste toestanden d. Vacuolen, Amst. 1886 u. diese Jhrb. Bd. XIX, p. 295.

2) Anatomie comparée de l'écorce, Ann. de Sc. nat. 1875.

in der Nähe des Vegetationspunktes aus und wachsen, wie die meisten anderen Krystalle im Pflanzenkörper, sehr schnell. Doch gelingt es relativ leicht, Jugendstadien aufzufinden. Ich untersuchte Längsschnitte der Stengelspitze in 4procentiger Rohrzuckerlösung; in allen zur Beobachtung gekommenen jungen Zellen zeigt sich der Krystall innerhalb der Vacuole; das Plasma kleidet als dünne Schicht die Zellwand aus. Durch Plasmolyse konnte ich es sich von der Wand zurückziehen lassen. Eine Isolirung der Vacuolen ist mir aber nicht gelungen, theils weil die Krystallzellen gewöhnlich schief durch den Stengel verlaufen und also nur selten gut zu beobachten sind, theils wegen Mangel an Material; muss man öfters doch sehr viele Längsschnitte plasmolysiren, ehe man bei jungen wachsenden Zellen eine Isolirung der Vacuolen stattfinden sieht. Auch ohne solche Isolirung ist es aber in den chlorophylllosen Zellen mit dünner Plasmaschicht deutlich zu sehen, dass die Krystalle sich in der Vacuole ausbilden, ebenso wie dies mit den Rhaphiden der Fall ist.

In den erwachsenen Stengeltheilen füllt der Krystall die Zelle fast ganz aus; doch scheint sich immer zwischen dem letzteren und der Zellwand noch ein Rest des Plasmas zu erhalten. Dessenungeachtet sind die Zellen todt.

Anstatt alle untersuchten Pflanzen ausführlich zu beschreiben, wie ich bis jetzt mit einigen wenigen gethan habe, lasse ich, weil die Methode fast immer dieselbe war, nur ein Verzeichniss der Namen folgen[1]):

Rhaphiden.

Monocotylen: Hyacinthus orientalis, Blatt, Blüthenstengel,
Pontederia crassipes, Blattstiel,
Philodendron grandifolium, Blattstiel,
Lemna trisulca, Thallus,
Tradescantia viridis, Stengel,
Richardia aethiopica[2]), Blattstiel,
Vanilla planifolia, Wurzel, Stengel,
Anthurium Hookeri, Wurzel.

1) Für die Krystalle der Samen vergleiche den zweiten Theil dieser Arbeit; ebenso für Pilobolus cristallinus.

2) Die Kerne der Rhaphidenzellen dieser Pflanze sind viel grösser als die ihrer Nachbarinnen.

Dicotylen: Mesembryanthemum cristallinum, Stengel,
Impatiens Sultani, Stengel,
Fuchsia hybr., Blattstiel.

Tetragonale Prismen (1) und Octaeder (2).

Monocotylen: Vanilla planifolia (1, 2), Blatt, Wurzel,
Allium Cepa (1, 2), Blatt.

Dicotylen: Solanum tuberosum (2), erwachsene Knolle,
Tradescantia discolor (1,2), erwachs. Blüthenstengel.

Monosymmetrische Krystalle: Hendyoeder, Prismas etc.

Monocotylen: Musa rosacea, Blattscheide.

Dicotylen: Melianthus major, Stengel,
Citrus Aurantium, Blattstiel,
Scorzonera hispanica, Cotylen.
Populus nigra, Stengel.

Drusen.

Monocotylen: Anthurium Hookeri, Wurzel,
Philodendron grandifolium, Blattstiel.

Dicotylen: Aethusa Cynapium, Samen,
Cardiospermum Halicababum, Samen,
Pastinaca sativa, Samen,
Daucus Carota, „
Hoya carnosa, Blatt,
Ricinus communis, Stengel,
Begonia metallica, „
„ manicata, „
„ macrophylla, „
„ sanguinea, „
„ Rex, „
„ phyllomaniaca, Stengel,
Evonymus japonicus, „
Ptelea trifoliata, Stengel,
Kerria japonica, „
Silybum Marianum, Samen.

Stäbchen (1), kleine Octaeder (2) und Hendyoeder (3) und Krystalle ohne deutliche Krystallform (4).

Monocotylen: Richardia aethiopica (1, 3, 4), Blattstiel,
Anthurium Hookeri (2, 4), Wurzel,
Trianea bogotensis (1), Blattparenchym.

Dicotylen: Silybum Marianum (4), Samen,
Martynia formosa (1, 2), Haare,
Salvia Sclarea (1), Stengelmark,
Ballota hirsuta (1, 2), Haare,
Stachys lanata (1, 2), „
Phyllocactus Phyllanthus (2, 4), Haare,
Opuntia cylindrica (2, 4), Haare,
Nicotiana Tabacum (1, 2, 4), Haare,
Salvia viscosa (1), Haare,
Acanthus mollis (1, 2), Epidermis der Bracteen,
Tragopogon pratensis (2, 4), Epidermis der Cotylen,

Farne: Asplenium astracanicum (1), Epid. d. erw. Blattes.

Fungi: Pilobolus cristallinus (4), Fruchtträger.

Krystallsand.

Achyranthes Verschaffelti, Stengel,
Sambucus nigra, „
Solanum tuberosum, „

Die eingeklammerten Nummern hinter den Pflanzennamen deuten auf das Vorhandensein der in der Ueberschrift in gleicher Weise bezeichneten Art der Krystalle.

Die Thatsache, dass in allen diesen Fällen die Krystalle in den Vacuolen gefunden wurden, beweist zur Genüge, dass das Calciumoxalat sich innerhalb der Zelle nur in der Vacuole und nie im Plasma absetzt. Die Fälle, wo das Salz in der Zellwand gefunden wird, wurden nicht untersucht, weil es schon von vornherein klar ist, dass es sich hier auch ausbildet (Holz etc. von Coniferen und Gnetaceen, Epidermis vom Sempervivum etc.).

Dagegen giebt es einige andere anatomische Eigenthümlichkeiten in betreff des Vorkommens des Kalkoxalats, welche jetzt einer Erklärung bedürfen. Es sind dies erstens das Mitschleppen der Krystalle

bei der Plasmaströmung, zweitens das „tissu spécial" von Payen und die Cellulosebalken von Rosanoff und drittens die Krystallhüllen von Citrus und einiger Baumrinden (Salix, Populus). Einige Bemerkungen über diese Gegenstände finden sich in den nächstfolgenden Abschnitten.

II. Abschnitt.

Das Mitschleppen der Krystalle bei der Plasmaströmung.

Es ist eine in der botanischen Litteratur ziemlich oft beschriebene Thatsache, dass kleine Calciumoxalatkrystalle der Plasmabewegung folgen. Ich fand es beschrieben für die Stäbchen im Blattparenchym von Trianea bogotensis[1], für Octaeder in den Haarzellen von Cucurbita[2]) und für die Stäbchen im Parenchym der Labiatenstengel[3]) und beobachtete es selber sehr schön an den Prismen im Velamen der Luftwurzeln von Vanilla planifolia.

Poli schliesst aus seinen Beobachtungen, dass seine Kryställchen im Plasma liegen; dass dies nicht der Fall, habe ich schon oben (p. 444) gezeigt. Ebenso findet sich das Blattparenchym von Trianea und das Velamen von Vanilla unter den untersuchten Pflanzentheilen, und es ist demnach deutlich, dass die Krystalle sehr gut von den Plasmaströmungen mitgeschleppt werden können und dennoch innerhalb der Vacuole liegen. Die einzig mögliche Erklärung dieser scheinbar gänzlich entgegengesetzten Beobachtungen ist diese: das Körnerplasma setzt durch Reibung die Wand der Vacuole mit in Bewegung und diese letztere theilt sich wieder den Krystallen, welche mit der Vacuolenwand fest verbunden sind, mit. Das dieses der Fall, konnte leicht constatirt werden: die Prismen des Velamens von Vanilla waren nicht im Stande, sich unter dem Einfluss der Schwerkraft zu bewegen.

Eine solche Befestigung ist auch in anderen Fällen leicht wahrnehmbar: ich sah es noch bei den Stäbchen und kleinen Octaedern im Parenchym der Wurzel von Anthurium Hookeri und in den

1) de Bary, Vorl. über Bact., 1885, p. 38.
2) Sachs, Vorl. über Pflanzenphys., 1882, p. 752.
3) Poli, I cristalli di ossalato calcico, 1882, p. 16.

Blättern von Hoya carnosa (Taf. XII, Fig. 6). In diesen Zellen war aber keine Plasmabewegung zu constatiren und die Krystalle waren demnach in Ruhe.

Es ist im höchsten Grade wahrscheinlich, dass die Vacuolenwand immer vom strömenden Plasma mit in Bewegung gesetzt wird, doch ist es nur mit Gewissheit in den Fällen zu sagen, worin etwas an der Innenwand angeheftet ist. So weit meine Beobachtungen reichen, sind es ausschliesslich Krystalle von Calciumoxalat, welche sich solcherweise vorfinden.

III. Abschnitt.

Das „tissu spécial" von Payen und die Cellulosebalken von Rosanoff.

Es ist eine seit langer Zeit bekannte Thatsache, dass die Calciumoxalatkrystalle im erwachsenen Gewebe nicht immer frei in der Zelle liegen, sondern in ein oder anderer Weise in gewissen Stellungen festgehalten werden, ohne dass wir auch nur im Mindesten den Zweck dieser eigenthümlichen, öfters ziemlich complicirten Einrichtungen verstehen können. Der einfachste und am allgemeinsten verbreitete Fall ist wohl der Schleim der Rhaphidenzellen, welcher die in den meisten Fällen parallele Lagerung dieser Krystalle bedingt und auch ohne Zweifel Ursache ist der eigenthümlichen Verhältnisse bei Mesembryanthemum.

Dass dieser Schleim sich innerhalb der Vacuole ausbildet oder doch jedenfalls abgelagert wird, geht schon aus dem eigenthümlichen Verhalten der Vacuolenwand bei der Plasmolyse solcher Zellen hervor. Der Ursprung der anderen Einrichtungen, wodurch die Krystalle an einer Stelle verharren, ist nicht so leicht klar zu legen. Ich nenne hier die Cellulose- oder Plasmahüllen, welche viele Krystalle, hauptsächlich Drusen, zeigen, und die damit öfters auftretenden Cellulosebalken, welche eine Verbindung darstellen zwischen der Zellwand und der Hülle des Krystalls. Erstere sind von Payen, letztere von Rosanoff entdeckt und von vielen späteren Beobachtern wiedergefunden.

Payen[1]) theilt Folgendes mit:

„Le tissu spécial du concretion se manifeste d'une manière certaine lorsque l'on a fait dissoudre l'oxalate à l'aide de l'acide azotique affaibli. C'est ce que montrent les figures avant et après la réaction opérée sur les concrétions.“ Und weiter noch: „Les nombreuses concrétions cristallines contenues dans les cellules de la plupart des tiges de cactus sont aussi enfermées dans un tissu de même nature, que l'on peut apercevoir en faisant dissoudre lentement les cristaux à l'aide de l'acide azotique on chlorhydrique étendu.“

Das „tissus spécial“ wird abgebildet von Opuntia glaucescens I. V. Fig. 7, von einer Cereusart in Fig. 6, von Aurantiaceen und Iuglandeen in Fig. 1 und 2.

Später sagt er von den Rhaphiden (p. 99):

„En examinant ces corps dans le lieu où ils se forment, je les ai toujours vu entourés d'un tissus membraneux, de couleur légèrement jaune, offrant tous les caractères du tissus spécial des concrétions.“ Etwas weiter beschreibt er in den folgenden Worten seine Versuche, das „tissus spécial“ hier deutlich zu machen:

„Voulant enlever toute la substance calcaire sans rien déranger, je fis passer sur une autre concrétion, préparée de même (d. h. geglüht) un courant d'acide chlorhydrique pur étendu de cinq cent volumes d'eau. Je vis alors l'opacité disparaître avec le carbonate et laisser les traces très affaiblies, mais evidentes, des raphides diaphanes, un peu courbées et enfermées encore dans la cellule végétale comme l'indique la fig. 8 bis Pl. VII. Cette singulière apparence de corps organisés persistant après l'incinération et l'action des acides me sembla devoir être due à une incrustation siliceuse dans la membrane, ce que je parvins à demontrer comme nous le verrons bientôt.

Dès lors il me parut probable que chaque raphide etait munie d'une trame membraneuse, à laquelle l'oxalate de chaux devait sa forme et donnait sa rigidité; que si je faisais dissoudre le sel sans détruire la matière organique, celle-ci dévait reprendre alors sa flexibilité et ses caractères habituels. Afin d'arriver à ce résultat

---

1) Concrétions et incrustations minérales, Mém. prés. p. div. sav. Sc. math. et physiques, T. 9, p. 91.

je fis passer entre les deux lames de verre qui maintenaient au foyer du microscope des raphides séparées dans une goutte d'eau, un courant d'acide sulfurique graduellement plus concentrée jusqu'a 0,5. Je vis des stries marquer la dissolution de l'oxalate, et la substance membraneuse, devenue flexible, se replier, suivant l'impulsion du courant. Sa projection est plus visible après le lavage et l'évaparation du liquide.

Les figures 5 et 5 bis pl. IV montrent les progrès de cette réaction sur les raphides de l'Arum colocasia; j'ai obtenu des effets analogues en agissant sur des raphides extraites d'une feuille de vigne; ce phénomène est plus curieux, plus facile à reproduire en agissant sur une biforine tirée de l'Arum seguinum. Ainsi que l'indique la figure 1ère de la planche VII, pendant que les raphides sont expulsées par l'effet de l'eau, on mieux de l'acide acétique, l'acide sulphurique arrête au passage ces aiguilles gonflées, les assouplit en dissolvant la cristallisation intérieure, et permet aussitôt de les faire flotter en tous sens, car la partie engagée dans la biforine la maintenant ainsi fixée d'un bout, empêche que les courants de liquide, variés à dessein, n'entraînent ces sortes de membranes organiques en dehors du cercle de l'observation.“

Schliesslich sagt er noch (Cristaux du pandanus l. c. p. 155): „Entièrement dissous ils laissent un tissu léger qui les enveloppait.“

Rosanoff[1]) sagt von den eigenthümlichen Krystallen von Kerria:

„Jeder Strang verbreitet sich aus einem der beiden Enden und geht allmählig sowohl in die Wand der Zelle über, als auch in ein dünnes Häutchen, welches die Krystalldrusen umgiebt und welches desto dünner und unscheinbarer wird, je grösser die Krystalldruse ist und je stärker einzelne Krystalle aus ihrer Gesammtmasse herausragen. Behandlung mit Salpetersäure, welche die Krystalle löst, überzeugt uns vollends von der Gegenwart eines solchen Häutchens [Taf. XII, Fig. 6][2]). Uebrigens ist dieses Häutchen sehr deutlich zu

1) Ueber die Krystalldrusen im Marke von Kerria japonica und Ricinus communis. Bot. Zeit. 1865, p. 329.

2) Nach Aeusserungen in seiner zweiten Abhandlung scheint seine Meinung zu sein, dass dieses Häutchen aus Cellulose besteht. (Ueber Krystalldrusen in den Pflanzenzellen. Bot. Zeit. 1867, No. 6.)

erkennen an solchen (wahrscheinlich jungen) Krystalldrusen, die aus kleinen Krystallen zusammengesetzt sind, welche radial um einen kleinen runden Hohlraum angeordnet sind und die zusammen eine vollkommen regelmässige Kugel bilden.

de la Rue[1]) sagt von den Krystallen von Hoya carnosa:

„Was die Entwicklungsgeschichte der Drusen betrifft, so ist sie ganz einfach: im Anfang bemerkt man die Bildung einer inwendigen Falte der Zellwand; die Falte entwickelt sich; dann bemerkt man in dem auf solche Weise entstandenen Schlauche das Auftreten eines körnigen Inhalts, welcher sich bald in eine Krystalldruse verwandelt.“

Im ersten Abschnitt dieser Abhandlung ist gezeigt worden, dass die Krystallbildung eine Function der Vacuole ist, und es ist eine erkannte Thatsache, dass die Cellulosebildung eine solche der Hautschicht des Plasmas bildet; die de la Rue'sche Entwickelungsgeschichte kann also, wie schon Poli bemerkt, unmöglich richtig sein. Es handelt sich jetzt darum zu untersuchen, wie es möglich ist, dass die Producte beider Functionen, welche doch normaler Weise durch das Plasma geschieden sind, in den vorhergenannten Fällen so innig mit einander in Berührung treten können. Einer etwas ausführlichen Discussion dieser Frage seien die folgenden Seiten gewidmet.

Eine sehr wichtige Thatsache scheint es mir, dass Häutchen und Balken ausschliesslich in todten Zellen gefunden sind; letztere finden sich fast ausnahmslos im Marke mehrjähriger holziger Gewächse, und auch bei Cactus, Hoya etc. kann man sich leicht überzeugen, dass die krystallführenden Zellen der erwachsenen Gewebe kein lebendiges Plasma mehr besitzen. Bei Begonia und Vanilla, wo die Krystallzellen nicht absterben, finden sich keine Häutchen, wie ich mich durch Lösung mittelst verdünnter Salpetersäure der betreffenden Krystalle in plasmolysirten Zellen überzeugen konnte. Wenn ein solches anscheinend vorhanden ist, so hat es nie genau die Krystallform beibehalten und ist wohl ein einfacher Rest des Plasmas.

Eine zweite sehr wichtige Thatsache scheint es mir zu sein,

1) Ueber Krystalldrusen bei einigen Pflanzen. Bot. Zeit. 1869, p. 536.

dass die Farbe, welche das Häutchen mit Chlorzinkjod annimmt, nicht immer bei einer Pflanze dieselbe ist und dass die Cellulosebalken nicht regelmässig vorkommen. Einige Beispiele werden dies erläutern.

Ich isolirte vier Drusen aus dem Marke eines alten Stengels von Ricinus communis. Durch Behandlung mit verdünnter Salpetersäure unter dem Mikroskop löste sich das Oxalat und die Häutchen behielten die Gestalt der Druse. Es wurde jetzt nach einander verdünntes Ammoniak, Wasser und Chlorzinkjod mittelst Fliesspapier durchgesogen. Die Zellwände färbten sich blau; ein Häutchen that das Gleiche; die drei anderen nahmen keine deutliche Farbe an.

Vier Drusen von Philodendron pertusum wurden in gleicher Weise behandelt und ergaben sämmtlich ein negatives Resultat.

Ein Längsschnitt aus dem Marke von Hibiscus Rosa sinensis enthielt zahllose Drusen; sie hinterliessen schöne Häutchen, welche fast alle sehr schön sich bläuten.

Bei diesen drei Pflanzen sind die Cellulosebalken, wie es mir schien, selten; am wenigsten noch bei Ricinus.

Von Kerria japonica untersuchte ich zahlreiche Drusen; die meisten wurden stellenweise deutlich blau, übrigens gelb. Einige wenige ganz gelb. Die Balken sind hier leicht und sicher zu finden; ebenso bei Pothos argyraea.

Drusen aus dem Blatte von Hoya carnosa zeigen regelmässig gelbwerdende Häutchen. Sie sitzen oft mit ihren Spitzen dem Zellrande fest an, doch Balken wie bei Kerria habe ich hier nicht gesehen.

Selbst wenn man die Möglichkeit annimmt, dass vielleicht durch den Einfluss der benutzten Reagentien in einigen Fällen eine Blaufärbung der Cellulose unterblieb, so bleiben doch noch genügend andere übrig, wodurch gezeigt wird, dass das Häutchen nicht immer aus Cellulose besteht.

Eine Erklärung scheint mir nur in folgender Weise möglich: Schon früher ist bemerkt, dass die Schläuche nur in todten Zellen gefunden sind, und ich glaube behaupten zu dürfen, dass sie nichts anderes sind, als eine indirecte Folge des frühzeitigen Todes der betreffenden Zellen. Bei diesem Absterben jedoch werden die Wände der umgebenden noch turgescenten Zellen in das Lumen der todten

vorgewölbt, ebenso wie zum Beispiel die letzte Querwand eines Spirogyrafadens immer vorgewölbt erscheint, und kommt somit in unsanfte Berührung mit den scharfen Spitzen der Drusen, welche sich dabei ohne Zweifel in die noch weiche Wand einbohren und so eine Verbindung darstellen, welche durch den Wasserverlust der Zellwand immer inniger wird. Alles dies findet statt, während das Längenwachsthum des betreffenden Organs noch nicht beendigt ist: eine Thatsache, welche schon dadurch angezeigt wird, dass die Drusenzellen der betreffenden Pflanzentheile immer viel kleiner sind als die übrigen Parenchymzellen. Es fragt sich jetzt, welche Veränderungen durch das fortgesetzte Längenwachsthum eintreten werden. Eine nothwendige Folge hiervon ist eine passive Dehnung der todten Zellen durch die umgebenden, eine Art Gewebespannung, wie wir sie alle kennen, zwischen Epidermis und Parenchym wachsender Organe, aber im verstärkten Grade, weil hier nicht schwächerer und stärkerer Turgor einander gegenüber stehen, sondern kräftiger Turgor und gänzliche Abwesenheit eines solchen die Spannung verursachen. Einer Ausdehnung der Wände der todten Zellen wird durch ihre Verbindung unter einander mittelst der Krystalldruse kräftig entgegengearbeitet und ist nur möglich, entweder wenn diese Verbindung zerrissen wird, oder wenn die Wände an den Verbindungsstellen sich ausdehnen: letzteres führt zu einer Bildung ungleich langer Celluloseschläuche, welche die Drusen mit der Zellwand verbinden und nichts anders sind, als die von Rosanoff entdeckten Gebilde von Kerria und Ricinus.

Um die Richtigkeit dieses Erklärungsversuchs deutlicher hervortreten zu lassen, mache ich erstens darauf aufmerksam, dass schon Rosanoff bemerkte, wie seine Cellulosebalken hauptsächlich in der Wachsthumsrichtung verliefen, und entnehme ich weiter noch der Abhandlung Poli's[1]) folgende für meinen Zweck wichtige Aussprüche: „Prima di tutto questi produzioni sono sempre in relazione con una drusa cristallina; e se qualche volta osserviamo di questi tendini attraversare le cellule e non aver termine ad un cristallo, è perchè questo è stato portato via nel fare il taglio.“ Weiter heisst es:

1) Contribuzioni alla istologia vegetale N. Giorn. Bot. Ital., Vol. XVI, No. 1, 1884, p. 55.

„All'opposto di quello che asserì Stoll questi tendini, come quelli che studiò Rosanoff, sono cavi." Und schliesslich: „Talvolta la parete cellulare sembra stirata dal tendine."

Aus diesen Resultaten von Poli's ausführlichen Untersuchungen über die betreffenden Gebilde geht also deutlich hervor, dass die Celluloseverbindungen hohl sind und demnach besser als Schläuche zu bezeichnen sind, dass sie immer in Verbindung mit einer Druse gefunden werden und dass sie bisweilen die Zellwand ausdehnen. Letzteres ist in seinen Figuren 3 und 5 deutlich zu sehen. Querschnitte der Celluloseverbindungen bildet er als Ringe ab. Alle seine Aussprüche sind so viele Argumente für meine Erklärung und auch das im Anfang hervorgehobene unregelmässige Vorkommen der Schläuche ist durch die erste Annahme genügend erklärt: lösen sich doch durch die passive Ausdehnung die Drusen von der Zellwand, so unterbleibt natürlich die Schlauchbildung[1]).

Das eigentliche Häutchen ist meines Erachtens weiter nichts anderes als der Rest des Protoplasmas, welches sich bald grösstentheils in Cellulose umgebildet hat, bald mehr oder weniger unverändert gestorben ist.

Die Payen'sche Rhaphidenhülle ist hierdurch natürlich nicht erklärt; sie ist meines Erachtens wahrscheinlich einfach ein Rest des Schleims, in welchem doch wohl alle Rhaphiden eingebettet liegen. Eingehende Untersuchungen habe ich darüber nicht angestellt.

II. Theil.

Das Eiweiss.

Einleitung.

Im ersten Theile dieser Arbeit haben wir festgestellt, wie in allen gut untersuchten Fällen der im Zellleib liegende oxalsaure Kalk innerhalb der Vacuolen abgelagert wird, doch war da noch

1) Zur Unterstützung meiner Meinung möchte ich noch daran erinnern, dass Voechting beschrieben hat (Histologie und Entwickelungsgeschichte von Myriophyllum, Nova Acta Acad. Lep. XXXVI, p. 14, Fig. 29, Taf. VII), wie die Krystalldrusen dieser Pflanze innerhalb der Zelle gebildet werden und später mit ihren Spitzen die Zellwand durchbohren. Eine Thatsache, welche als durchaus analog mit dem Obenbesprochenen erscheint.

nicht die Rede von jenen Krystallen, welche sich innerhalb der Aleuronkörner vorfinden. Ist die allgemein verbreitete Meinung richtig und sind letztere Theile des Plasmas (man vergleiche p. 425), so müssten ihre Einschlüsse, soweit sie aus oxalsaurem Kalk bestehen, eine Ausnahme von der aufgestellten Regel bilden, ist sie aber unrichtig, und wir werden in diesem Theil sehen, dass dies wirklich der Fall, so müssen auch alle anderen Einschlüsse der Aleuronkörner sich innerhalb der Vacuolen ausbilden, wie dieses schon z. B. von Gris[1]) und, wenn ich seine Angaben richtig verstehe, auch von Maschke[2]) für die Krystalloide des Ricinussamens behauptet worden ist. Pfeffer[3]) erklärt aber in seiner ausführlichen Untersuchung über die Proteinkörner ihre Ansichten für durchaus unrichtig, und demzufolge war eine erneute Untersuchung des ganzen Gegenstandes sehr erwünscht.

In den jetzt folgenden Mittheilungen werde ich zeigen, wie die Beobachtungen von Gris völlig tadellos sind, und zugleich seine Resultate und Figuren an der Hand meiner eigenen Untersuchungen deuten und verallgemeinern. Seine „intervalles clairs" sind nichts anderes als Vacuolen.

I. Abschnitt.

Bildung der Aleuronkörner.

Ricinus communis.

Die Samen dieser Pflanze enthalten bekanntlich Oel, amorphes und krystallisirtes Eiweiss und Globoide: sie sind demnach ein ausgezeichnetes Material, um Art und Weise der Ablagerung dieser Stoffe zu studiren. Die Bildung des Endosperms findet von aussen nach innen statt; nach einigem Suchen gelingt es Samen zu finden, welche alle Entwickelungszustände der Endospermzellen zeigen. Solche Samen finden sich nur in gänzlich oder beinahe gänzlich ausgewachsenen Früchten. Die jüngsten Zellen, welche also in der Mitte des jungen Samens liegen, haben ein wandständiges Plasma mit

1) Ann. de Sc. nat. 1864, V. Sér., T. II, p. 39.
2) Bot. Zeit. 1859, 430.
3) Diese Jahrb. Bd. 8, p. 518.

deutlichem Kern und grosser centraler Vacuole. Das Plasma ist unregelmässig feinkörnig. Die Zellen sind in lebhafter Theilung begriffen; Inhaltskörper fehlen noch ganz (Taf. XV, Fig. 4). Weiter nach der Peripherie sind die Zellen kleiner, der Kern findet sich in der Mitte der Zelle und ist mittelst zahlreicher Fäden mit dem parietalen Plasma verbunden. Die Körnchen sind zahlreicher und grösser geworden und bedecken hauptsächlich den Kern, wodurch dessen Umrisse undeutlich sind (Fig. 5). Immer weiter nach der Peripherie fortschreitend werden die Plasmafäden umfangreicher und hat die anfänglich centrale Vacuole sich in zahlreiche kleinere getheilt, welche mehr oder weniger Kugelgestalt haben und das Plasma netzförmig, fast schaumig erscheinen lassen (Fig. 6). Es ist in diesen kugeligen Vacuolen, dass sich schliesslich kleine Körper zeigen, welche immer genau die Mitte einnehmen und öfters in Molecularbewegung begriffen sind. Erst in älteren Zellen, wo diese Körperchen grösser sind, können wir ihre wahre Natur entdecken (Fig. 7). Sie zeigen dann deutlich scharfe Kanten und Ecken und wir können also annehmen, dass wir die jüngsten Stadien der Krystalloide vor Augen haben. Durch Anwendung von Reagentien wird diese Vermuthung zur Gewissheit.

Um das Verhalten der vermuthlichen Krystalloide gegen Eosin zu prüfen, verfuhr ich folgenderweise: Ich härtete die Präparate in der bekannten Weise mittelst der üblichen Chrom-Osmium-Essigsäure-Lösung und brachte sie nach Auswaschung in eine verdünnte wässerige Eosinlösung, wo sie ohne Nachtheil 24 Stunden verbleiben konnten. Nachher untersucht, zeigte sich das netzförmige Plasma dunkelbraun und die eckigen, scharfkantigen Inhaltskörper der Vacuolen schön roth. Jeder Zweifel, dass wir hier die jüngsten Stadien der Krystalloide aufgefunden haben, ist hiermit widerlegt. Dieses Resultat wurde weiter noch durch die Untersuchung älterer Zustände wiederholt bestätigt (Taf. XIII, Fig. 8). Es zeigen sich dann auch bald andere Körper in der Nähe der Krystalloide, welche die ersten Anfänge der Globoide darstellen.

Wir haben also hiermit den Bildungsort zweier Inhaltskörper der Ricinuszelle festgestellt und wenden uns jetzt zur näheren Betrachtung des Oels, und finden im bereits besprochenen Präparate schon den Beweis, dass es sich von den anderen in diesen Blättern

behandelten Bestandtheilen der Zelle unterscheidet, indem es sich bei Ricinus im Plasma ausbildet. Die deutliche braune Farbe des gehärteten Plasmanetzes ist dafür ein genügender Beweis. Es ist jetzt nur die Frage, ob eine bevorzugte Stelle zur Oelbildung da ist, oder ob dieser Stoff sich gleichmässig im ganzen Plasma ausbilden kann.

Um diese Frage zu lösen, müssen wir wieder zu den jüngsten Stadien der Endospermzellen zurückkehren. Betrachten wir jetzt diese nach der Behandlung mit dem Osmiumsäuregemisch, so finden wir, dass auch hier das Plasma eine braune Farbe angenommen hat und dass die hauptsächlich ringsum den Kern gehäuften anscheinenden Körnchen aus Oel bestehen, welches immerhin noch deutlicher wird bei der Betrachtung der Einwirkung concentrirter Schwefelsäure. Während alle anderen Theile aufquellen und unsichtbar werden, erhalten sich die Oeltröpfchen anfangs gänzlich unverändert, um bald nachher anzufangen zu grösseren Tropfen zusammenzufliessen. Die gequollene Masse nimmt eine rosarothe Farbe an, und weitere Veränderungen treten nicht ein.

Weil die eigentliche Besprechung der Oelablagerung erst im dritten Theil gegeben wird, so will ich die Frage nach den eventuell bei der Bildung dieses Stoffes bevorzugten Plasmatheilen hier nicht weiter berühren; lediglich bemerke ich, dass die Entwickelungsgeschichte der Samen, wie aus dem oben Mitgetheilten hervorgeht, nicht für die Anwesenheit solcher Stellen spricht. Wie gesagt, wird diese Frage später ausführlicher besprochen; hier ist es doch eher der Ort, weitere Mittheilungen über die Eiweissablagerung zu machen.

Anwendung plasmolysirender Reagentien nämlich lieferte noch weitere Belege für die Annahme, dass die Krystalloide sich in der Vacuole ausbilden, welche aber als überflüssig nicht ausführlich beschrieben zu werden brauchten, wenn nicht eine eigenthümliche Eigenschaft der Eiweisskörper dabei zu Tage getreten wäre, welche die Untersuchung von vielen anderen Samen erschwerte. Um eine Trennung der Vacuole vom Plasma zu Stande zu bringen, setzte ich zu einem in 4procentiger Zuckerlösung liegenden Präparat die gewöhnliche eosinrothe 10procentige Salpeterlösung hinzu, ohne jedoch meistentheils meinen Zweck zu erreichen. Nur in sehr wenigen Zellen trat die Vacuole als deutlich gespannte Blase auf; in den meisten dagegen trat gar keine Plasmolyse ein und nur selten erhielt

ich Bilder wie Taf. XIII, Fig. 5, wo sich, dem Bilde in Zuckerlösung entsprechend, farblose Krystalloide innerhalb der Vacuole zeigen, während das Plasma gestorben ist und desshalb roth erscheint. Indem ich zu diesem Präparate mehr Salpeterlösung zusetzte und an der anderen Seite mittelst Fliesspapier die Zuckerlösung entfernte, verkleinerte sich die Vacuole anfangs, um schliesslich zu platzen. In diesem Augenblick löste sich das Krystalloid in der umgebenden Flüssigkeit auf.

Durch diese Beobachtung war die Seltenheit der Bilder, wie Fig. 5 erklärt: beim Eintreten der Plasmolyse werden die schon gebildeten Krystalloide wieder gelöst, offenbar weil das krystallisirte Eiweiss in der sich concentrirenden Salzlösung löslich ist. Aehnliche Thatsachen fand ich bei der Untersuchung zahlreicher anderer Samen.

Bisher ist vom amorphen Eiweiss noch nicht die Rede gewesen, weil es bei Ricinus im Verhältniss zu den übrigen Theilen sehr in den Hintergrund tritt; wir werden aber bald an geeigneteren Objecten sehen, dass auch dieses innerhalb der Vacuole aufgespeichert wird.

Helianthus annuus.

Diese Pflanze eignet sich ausserordentlich zu einer entwickelungsgeschichtlichen Untersuchung der Samen: in einer einzigen glücklich gewählten Inflorescenz kann man fast alle Stadien der reifenden Samen beisammen finden.

Die jüngsten Zustände, welche ich untersuchte, zeigten das Oel als feine Tröpfchen im Plasma vertheilt. Letzteres war immer mehr oder weniger netzförmig, jedoch noch nicht schaumig, wie bei Ricinus. Die nicht sehr zahlreichen Vacuolen zeigten sich öfters sehr deutlich und in ihnen kugelige Gebilde, welche die Anfänge der Proteinkörner darstellen (Taf. XV, Fig. 3).

Weil deutliche Bilder jedoch gewissermaassen Ausnahmen sind, urtheilte ich es nothwendig, die nämlichen Zellen auch in 10procentiger Salpeterlösung zu untersuchen. Auch hier zeigte sich die Löslichkeit der betreffenden Eiweissstoffe in starken Salzlösungen. In den meisten Zellen, welche plasmolysirt waren, war jede Spur der Aleuronkörner verschwunden, in vielen anderen lagen sie innerhalb der gespannten Vacuolenwand (Taf. XIII, Fig. 6). Ich beobachtete die abgebildete Zelle, während immer mehr Salpeterlösung zufloss

und Zuckerlösung entfernt wurde: die jungen Aleuronkörner bekamen, während die Vacuole sich merklich verkleinerte, angefressene Ränder und verschwanden beim Platzen augenblicklich. Sie verhalten sich also wie die Krystalloide von Ricinus.

Eine Thatsache von allgemeiner Wichtigkeit möchte ich hier noch hervorheben. Sie geht allerdings vielleicht noch deutlicher aus der Betrachtung der Ricinusbilder hervor. Bei beiden Pflanzen zeigen die jungen Endosperm- resp. Samenlappenzellen eine oder wenige Vacuolen, während wir wissen, dass die Zellen der reifen Samen sehr zahlreiche Aleuronkörner führen. Die Schwierigkeit wird immerhin gleich gelöst bei der Betrachtung der Taf. XV, Fig. 4, 5, 6 und 7, wo wir die Theilung der ursprünglich einzigen Vacuole fast vor uns sehen. Solches findet nun bei allen untersuchten Samen statt; später werden wir mittheilen, wie das umgekehrte bei der Keimung zu beobachten ist.

Den Sonnenrosensamen analog verhalten sich diejenigen einiger Lupinusarten.

Silybum Marianum.

Die Betrachtung eines Querschnittes des erwachsenen, doch noch nicht reifen Samens in 4procentiger Zuckerlösung ist für unseren Zweck sehr lehrreich. Die Zellen sind hier zweierlei Art: die eine Gruppe zeigt sehr zahlreiche Vacuolen, in welchen sich ein, zwei oder vielleicht drei kugelige Globoide finden und die anderen Zellen besitzen weniger zahlreiche Vacuolen, in einer von welchen sich eine schöne Druse und in den übrigen sehr feine Nadeln vorfinden. Die Bilder sind äusserst zierlich. (Man vergleiche Pfeffer's Figur in diesen Jahrbüchern Bd. 8.)

Verdünnte Salpetersäure (1 : 5) ruft in solchen Zellen eine sehr eigenthümliche Veränderung hervor: es bildet sich rings um die Körner ein voluminöser Niederschlag, welcher genau die Gestalt der Vacuole hat und diese anfaugs ganz ausfüllt und sich erst später zu einem geringeren Volumen zusammenzieht. Erstere bleiben noch eine Zeit lang sichtbar, werden schliesslich gelöst und an ihrer Stelle bleibt ein deutlich sichtbarer Hohlraum im Niederschlag zurück. Letzterer ändert seine Beschaffenheit nicht mehr (vergl. Taf. XV, Fig. 8).

Nach Auswaschung mit Wasser und Behandlung mit Jodlösung färbt sich der Niederschlag merklich dunkler als das Plasma. Dasselbe zeigt sich auch deutlich bei Färbung der Präparate mit wässeriger Eosinlösung. Es ist demnach deutlich, dass im Zellsaft gelöstes Eiweiss durch die saure Flüssigkeit gefällt wird und dass also die Vacuolen durch Wasserverlust, also beim Austrocknen des Samens, zu Aleuronkörner werden.

Solches wurde noch näher bewiesen durch die Folgen der Einwirkung wasserentziehender Reagentien: Starke Salzlösungen sowie absoluter Alkohol wirken nämlich wie die verdünnte Säure, selbstverständlich nur was den optischen Effect anbelangt, nicht in chemischer Hinsicht.

Ich glaube hierdurch den Beweis geliefert zu haben, dass Aleuronkörner eiweissgefüllte Vacuolen sind. Weitere Beweise bringe ich noch in den nächstfolgenden Seiten.

Scorzonera hispanica und Tragopogon pratensis.

Die erstgenannte Pflanze führt in ihren Samen zweierlei Arten von Zellen: die einen enthalten nadelförmige Krystalle kleesauren Kalkes, die anderen Globoide. Beide Gebilde sind Einschlüsse der Aleuronkörner. Tragopogon verhält sich wie Scorzonera, doch kommt das Kalksalz nur spärlich und in Octaedern vor.

Bei der Betrachtung von Längsschnitten der Samenlappen noch grüner Früchte in 4procentiger Zuckerlösung sieht man instructive Bilder. Im netzförmigen Plasma zeigen sich die abgerundeten Vacuolen, und in jeder dieser letzteren ein Globoid (Taf. XV, Fig. 2), oder ein Bündel Krystalle (Fig. 1).

Die Bilder sind so deutlich, dass es überflüssig schien, weitere Reagentien einwirken zu lassen; doch will ich noch hinzusetzen, dass es mir gelang, in den Oxalatzellen hübsch getrennte Vacuolen mit ihren Krystallen zu beobachten.

Das Oel bildet sich anscheinend gleichmässig im Plasma aus; es zeigt sich als gleich grosse Tropfen in allen Zellen. Sie erhalten sich anfangs unverändert in concentrirter Schwefelsäure, während alles übrige aufquillt und unsichtbar wird, und fliessen nachher zu grösseren Tropfen zusammen.

Die beiden Pflanzen verhalten sich also wie Silybum. Das

Nämliche gilt für die Umbelliferen Daucus Carota und Pastinaca sativa, welche desshalb nicht weiter besprochen zu werden brauchen.

Aethusa Cynapium.

Die grünen Früchte zeigen auf dem Querschnitt ungefähr die nämlichen Bilder wie jene der verwandten Daucus-Art; bekanntlich führen aber die reifen Samen ausser Kalkoxalat, Globoiden, Oel und amorphem Eiweiss auch noch krystallisirtes. Anfänge dieser Krystalloide habe ich allerdings nicht gesehen; erstens weil die Samen sich genau wie die vorher studirten verhalten, und zweitens, weil die Krystalloide sich immer innerhalb des Aleurons vorfinden, ist es deutlich, dass sie keine Ausnahme bilden werden. Wahrscheinlich bilden sich die Eiweisskrystalle während des Austrocknens des Samens aus und wachsen sie sehr schnell.

Ich will bei dieser Gelegenheit aber andere Vorkommnisse besprechen. Es finden sich nämlich bei Aethusa und bei vielen anderen Samen in den betreffenden Stadien, wenn also die Einschlüsse führenden Aleuronkörner noch Vacuolen sind, an der Peripherie der Zellen unregelmässige, mit Jod sich bräunende Körperchen, welche, wenn die Jodreaction nach Trennung des Plasmas und der Vacuole mittelst Salpeterlösung vorgenommen wird, sich als im ersteren liegend erweisen. Vermuthlich sind es kleine, vorzeitlich mit Eiweiss angefüllte Vacuolen, doch lässt sich die Möglichkeit nicht ausschliessen, dass es im Plasma abgelagertes Eiweiss ist.

Sparganium ramosum und simplex.

Die beiden Arten der Gattung Sparganium führen im Endosperm reichlich Krystalloide. Sie kommen hier in einer und derselben Zelle vor mit Stärkekörnern, was sonst nicht der Fall zu sein pflegt. Sie wären demnach ein ausgezeichnetes Object, um die Bildung der Eiweisskrystalle unter einigermaassen anderen Umständen zu studiren. Leider bieten sie bei diesem Studium unüberwindliche Schwierigkeiten. Erstens sind die erwünschten Zwischenstadien, welche bei anderen Samen so leicht aufzufinden sind, wo die Endospermzellen eben ihren Inhaltskörper zu bilden angefangen haben, hier fast nie zu finden, zweitens sind die Zellwände der jungen Endospermzellen äusserst zart und werden demzufolge nur zu oft bei der Präparation

zerrissen, und drittens ist eben die Stärke Ursache, dass man bei Betrachtung von Quer- oder Längsschnitten in 4procentiger Rohrzuckerlösung nicht genügend in die Zellen hineinsehen kann, um Gewissheit über den Bildungsort der Krystalloide zu erlangen. Wenn ich dennoch als meine Meinung ausspreche, dass auch hier die Krystalloide sich innerhalb der Vacuolen bilden, so beruht dies auf der Beobachtung der Einwirkung der üblichen 10procentigen Salpeterlösung. Es zeigt sich hierbei Folgendes:

Ein Querschnitt des jungen Samens von Sparganium ramosum wurde anfangs beobachtet in 4procentiger Zuckerlösung: es zeigten sich zahlreiche, anscheinend lebendige Zellen, welche Krystalloide und Stärkekörner enthielten, nebst vielen durchschnittenen, deren Inhaltsbestandtheile in der Flüssigkeit herumlagen. Bei der Einwirkung der eosinrothen 10procentigen Salpeterlösung war nun ein deutlicher Unterschied zu erkennen zwischen den ersteren und letzteren Krystalloiden. Die isolirten quollen schnell zu hellrothen, um viele Male grösseren Körpern an; die in den lebenden Zellen befindlichen quollen auch, doch beträchtlich langsamer; sie verschwanden gänzlich und an ihrer Stelle zeigte sich eine farblose Blase, welche ohne Zweifel eine sich vom Plasma trennende Vacuolenwand darstellte. Ein Platzen durch Erwärmen des Objecttisches konnte ich leider nicht beobachten, weil die aufquellende Stärke alle Beobachtung unmöglich machte. Doch scheint mir dieses Verhalten ein vollständiger Beweis, dass auch bei Sparganiumarten die Ausbildung des Krystalloids in der Vacuole stattfindet[1]).

II. Abschnitt.

Lösung der Aleuronkörner in keimenden Samen.

Wir haben uns bis jetzt ausschliesslich mit reifenden Samen beschäftigt; es fragt sich nun, wie sich keimende Samen verhalten. Wissen wir doch, dass Vacuolen sich ebensowenig neubilden als

1) Viel schöner beobachtete ich später die Bildung der Musasamen, welche genau wie diejenigen von Sparganium gebaut sind. In Tausenden von Zellen sah ich die jungen Krystalloide farblos innerhalb der Vacuolen, während das Plasma gestorben und rothgefärbt war. Beim Platzen der Vacuolenwand färbte sich auch das Krystalloid fast momentan roth.

verschwinden können[1]), und es ist darum schon im Voraus ziemlich gewiss, dass diejenigen, welche beim Austrocknen des Samens zu Aleuronkörnern werden, beim Aufweichen in Wasser wieder zu Vacuolen werden müssen. Bei der Untersuchung zahlreicher Samen zeigte sich dies auch wirklich. Nach 24stündigem, oder weil die Versuche im Winter angestellt wurden, nach 36- oder 48stündigem Aufweichen traten immer jene Zustände wieder ein, welche wir für noch nicht ausgetrocknete Samen beschrieben haben. Durch Untersuchung habe ich dieses festgestellt für die folgenden Pflanzen: Silybum Marianum, Daucus Carota, Pastinaca sativa, Helianthus annuus, Aethusa Cynapium, Lupinus spec. und Ricinus communis. Nur bei Tragopogon pratensis konnte ich nicht immer genau die nämlichen Bilder wiederfinden, welche ich bei grünen Samen gesehen hatte; doch wird dieses wohl verursacht durch die Eigenthümlichkeit des Oels, welches das Einsehen in keimenden Samen viel mehr hindert als in reifenden.

Es ist deutlich, dass die Uebereinstimmung der Bilder der beiden Zustände der Samen bei den untersuchten Pflanzen kein Zufall sein kann, sondern dass wir nur zufällig ausgewählte Beispiele einer allgemeinen Regel haben und dass also die oben ausgesprochene Vermuthung bewiesen ist. Wir wissen also, dass die Zustände der Samen vor dem Eintrocknen und nach dem Aufweichen genau einander gleichen; die Uebereinstimmung geht aber noch viel weiter. Aus meinen weiteren Untersuchungen ergab sich nämlich, dass beim ganzen Keimungsprocess genau dieselben Zustände durchgemacht werden, wie bei der Samenbildung, doch in umgekehrter Reihenfolge. Wir haben oben gesehen, wie die ursprünglich einfache Vacuole des jungen Ricinus-Endosperms sich in immer mehr kleinere theilt, welche beim Austrocknen zu Aleuronkörnern werden; wir haben gesehen, wie die jungen Zustände der Helianthus- und Lupinussamen zwei oder drei Vacuolen enthielten, während wir wissen, wie im reifen Samen sehr zahlreiche kleine Aleuronkörner vorkommen, und können daraus schliessen, dass die Theilung der Vacuolen beim Reifen eine allgemeine Erscheinung ist. Beim Keimen findet auch davon gerade das Umgekehrte statt: Ich sah dies bei Silybum,

1) Went, Jongste Toestanden der Vacuolen, Amst. 1886 und diese Jahrbücher Bd. XIX, p. 295.

Helianthus, Lupinus und Ricinus. Ich beobachtete hier, wie anfangs die Aleuronkörner durch Wasseraufnahme zu Vacuolen wurden, wie das Eiweiss aus letzteren verschwindet und wie die ursprünglich sehr zahlreichen kleinen Vacuolen sich zu immer grösseren vereinigten und wie am Ende der Keimungsperiode sich in fast allen Zellen ein dünnes wandständiges Plasma mit grossem Saftraum vorfand. Bei der benutzten Silybumart liegen zu dieser Zeit die Krystalldrusen innerhalb einer solchen grossen Vacuole, und bei Ricinus finden sich auch die letzten Ueberreste der Krystalloide immer in derselben Weise in der Zelle. Das Plasma ist auch hier wandständig und führt noch grosse, unregelmässig gestaltete Oeltropfen.

Im Allgemeinen stellt diese Flüssigkeit wohl den einzigen Unterschied zwischen keimenden und reifenden Samen dar: In den Zellen ersterer ist es immer viel augenfälliger und scheint sich erst spät (vielleicht nicht immer ganz) zu lösen.

Indem wir jetzt wissen, dass sich die Zustände der reifenden Samen beim Keimen wiederholen, können wir auch Gewissheit bekommen über die Bildung der Bestandtheile derjenigen Samen, deren Entwickelungszustände uns nicht zu Gebote stehen. Ich untersuchte in dieser Weise noch: Cytisus Laburnum, Cynoglossum officinale, Cardiospermum Halicababum, Iuglans regia, Amygdalus communis, Bertholletia excelsa, Elaeis guineensis und Arachis hypogaea. Aufgeweichte und keimende Samen aller dieser Pflanzen gaben Resultate, welche genau übereinstimmten mit Allem, was vorher über die anderen Pflanzen mitgetheilt worden ist. Cytisus, Cynoglossum und Arachis gehören zur Helianthusgruppe, Cardiospermum und Amygdalus mehr in der Nähe von Silybum, obwohl beide nur selten deutliche Globoide zeigen und letztere keine Krystalldrusen führt, und Iuglans, Bertholletia und Elaeis zeigen grosse Uebereinstimmung mit Ricinus.

Specielleres theile ich nur von folgenden Pflanzen mit.

Helianthus annuus.

Von einigen Samen, welche nach 24stündigem Aufweichen in Wasser am 11. November 1887 im Dunkelschrank in feuchten Sägespähnen eingelegt wurden, untersuchte ich die ersten am 18. November. In allen Zellen zeigte das Plasma Netzstructur mit zahl-

reichen kugeligen Vacuolen. Ihr Inhalt war gänzlich verflüssigt. Verdünnte Salpetersäure verursachte in jeder Vacuole den bekannten Niederschlag, welcher sowohl mit Jod als mit Eosin färbbar war. Weil die Temperatur im Dunkelschrank ziemlich hoch war, hatten die Keimpflanzen am 19. November schon Nebenwurzeln; die Schale war abgeworfen. Dennoch bildete sich ein deutlicher Niederschlag durch Salpetersäure. Er war weniger dicht als am 15. November. Am 21. enthielten die Vacuolen des Schwammparenchyms kein Eiweiss mehr, während sich in jenen des Palissadenparenchyms noch ein geringer Niederschlag bildete.

Bald nachher starben die Keimpflänzchen ab.

Silybum Marianum.

Die keimenden Samen dieser Pflanze in derselben Weise behandelt, verhielten sich auch gleich. Auch hier waren die Vacuolen am 21. November eiweissleer, und, wie schon früher bemerkt, fand sich in jeder Zelle nur eine, in welcher sich hier und da die Krystalldrusen oder einige Globoide zeigten.

Der Tod folgte auch hier bald.

Iuglans regia.

Samen, am selben Tage zum Keimen gelegt wie die obigen, wurden am 5. December untersucht. Sie zeigten sich als sehr lehrreich. Die Hauptwurzel war schon kräftig entwickelt und verzweigt; die ersten Blätter fingen an deutlich zu werden. Die grossen Samenlappen enthielten alle Stadien der Auflösung. In der Nähe der Anheftungsstelle führten die Zellen nur Zellsaft, am entgegengesetzten Ende zeigten sich die unversehrten Krystalloide innerhalb deutlicher Vacuolen. Dazwischen fanden sich erstere in allen Stadien der Auflösung. Mit Chrom-Osmium-Essigsäure und Eosin wurden sie roth und das umgebende Plasma schwarz.

Aehnliche Bilder erhielt ich aus keimenden Samen von Ricinus.

Bertholletia excelsa.

Ich hatte von dieser Pflanze nur Samen zur Verfügung, welche während ungefähr vier Wochen zum Keimen gelegt waren. Das Oel zeigte sich auch hier im Plasma; innerhalb der Vacuole nur die

verschieden gestalteten Globoide. Die Krystalloide waren schon gelöst. Durch Salpetersäure wurde auch hier das Eiweiss in der gewohnten Weise gefällt. Die Samen erinnern also stark an diejenigen von Aethusa; sie unterscheiden sich aber durch den Mangel an oxalsaurem Kalk.

Cardiospermum Halicababum.

Ich untersuchte diese Pflanze hauptsächlich, weil sich von den Krystalldrusen der Cotylen Angaben in der Literatur finden, welche eine ganz ungewöhnliche Entstehung muthmaassen[1]. Nichts ist aber weniger richtig. Querschnitte der Cotylen nach 24stündigem Aufweichen in Wasser zeigen fast genau dasselbe Bild, das wir bei Pastinaca sativa gefunden haben. Die Drusen finden sich in grossen Vacuolen, welche von zahllosen kleineren umgeben sind. Durch verdünnte Salpetersäure wird auch hier das gelöste Eiweiss gefällt.

Querschnitte der Samenlappen aus den trocknen Samen nach mehrstündiger Behandlung mit Aether in Alkohol ausgewaschen und in Wasser untersucht, zeigen folgendes Bild: Das Oel ist gelöst und das Plasma ist demzufolge so gut wie unsichtbar geworden, die Aleuronkörner zeigen sich sehr deutlich und lösen sich nicht. Untersucht man die Präparate nicht in Wasser, sondern in 10procentiger Salpeter- oder Jodkaliumlösung, so verschwindet das Aleuron fast augenblicklich. Die Krystalldrusen bleiben dann übrig. Sie hinterlassen bei der Lösung in verdünnter Salzsäure keinen organischen Kern, wie behauptet worden ist, sondern gewöhnlich nichts, selten eine organische Hülle, welche wohl aus nicht gelöstem Aleuron besteht.

Das Hauptresultat dieses Versuches ist jedenfalls das Ungelöstbleiben des Aleurons im todten Gewebe. Es zeigt sich hierbei deutlich, dass durch die Behandlung mit Aether und Alkohol entweder das Eiweiss so verändert ist, dass es sich in Wasser nicht mehr löst, oder dass ein Stoff ausgezogen ist, welcher die Lösung bedingt.

Cynoglossum officinale.

Ich wählte absichtlich diese Pflanze, weil sie eine von denjenigen ist, von welchen Pfeffer angiebt, dass das Aleuron der

1) Man vergleiche p. 424.

Samen sich nicht in Wasser löst. — Nach 24stündigem Aufweichen in Wasser zum keimen gelegte Samen wurden nach 14 Tagen untersucht. Sie waren sehr ungleich entwickelt; jedoch hatten alle gekeimt. Querschnitte der Samenlappen zeigten ein mit Helianthus übereinstimmendes Bild: In einem Samen, dessen Schale schon abgestreift war, führten die Zellen je eine centrale Vacuole, in einem anderen, welcher sich noch nicht so weit entwickelt hatte, war das Plasma noch netzförmig-schaumig und enthielt demnach noch zahlreiche kleine Vacuolen entsprechend den Aleuronkörnern des ruhenden Samens. In beiden Arten von Vacuolen wurde das Eiweiss durch verdünnte Salpetersäure gefällt.

Es zeigt sich somit, dass diese Samen sich in Nichts von den übrigen unterscheiden. Die Befunde Pfeffer's sind wohl eine Folge davon, dass er ausschliesslich todte Samen untersuchte, indem beim Tode wohl die zur Lösung nöthige alkalische Reaction der Vacuole schwindet.

Die Fällung des Eiweisses.

Wir haben oben schon gesehen, dass die Fällung des gelösten Eiweisses in den Vacuolen des aufgeweichten Samens ebenso leicht stattfindet als in jenen des reifenden; es ist jetzt Zeit, diesen Process etwas näher anzusehen. Wie es durch verdünnte Salpetersäure stattfindet, ist schon genügend beschrieben; zur Erläuterung verweise ich auch hier nur noch auf Taf. XV, Fig. 8, wo zwei Krystallzellen aus einem keimenden Samen von Pastinaca sativa in dieser Flüssigkeit liegend abgebildet sind. Die Krystalle sind noch nicht gelöst und schimmern deutlich in der Mitte des Niederschlags durch. Nach ihrer Lösung zeigen sich überall deutliche Aushöhlungen. Wie hübsch man die Salpetersäure benutzen kann, um den Gehalt der Zelle an Eiweiss und das Verschwinden desselben beim Keimen zu beobachten, ist auch schon mitgetheilt worden. Es fragt sich jetzt noch, ob nicht andere Reagentien ebenso geeignet zur Fällung sind als die bisher benutzte Säure.

Es ist schon von vornherein zu erwarten, dass alle wasserentziehenden Mittel den gleichen Erfolg haben werden. Thatsächlich trifft dies auch zu.

Absoluter Alkohol verursachte z. B. Fällung des Eiweisses beim aufgeweichten Samen von Pastinaca sativa.

Starke Salzlösungen, wie 10procentige Salpeter- und Jodkaliumjodiumlösung, wirken ebenso; im ersteren Falle färbt sich der Niederschlag zu gleicher Zeit braungelb. Hierdurch wird erklärt, warum in den Zellen der erwachsenen Samen vielfach keine Plasmolyse eintritt.

Verdünnte Salzsäure ($^1/_2$) wirkt anfangs wie Salpetersäure, doch bald löst sich der Niederschlag wieder und das Bild ist dann einen Augenblick jenem des aufgeweichten Samens gleich. Bald nachher fängt die Lösung der Krystalle und Globoide an.

Verdünntes Kali wirkte ganz im entgegengesetzten Sinne wie die Säuren; es löst alle Aleuronkörner rasch auf.

Von allen genannten Mitteln, das gelöste Eiweiss der Vacuolen zu fällen, empfehle ich nur die verdünnte Salpetersäure, weil Alkohol das Oel zum Austreten bringt und die Bilder also undeutlich macht, während Salzlösungen, wenn sie das Plasma tödten, den Niederschlag wieder lösen und, wenn sie es nicht tödten, zu gleicher Zeit Plasmolyse verursachen.

Anhang.

Die Müller'schen Körperchen.

Von diesen Gebilden, bekanntlich Lockspeisen für Ameisen bei einigen Arten der Gattungen Cecropia und Acacia, sagt Schimper[1]):

„Der Inhalt der Zellen erscheint an in Wasser liegenden Schnitten zunächst undurchsichtig körnig, bald darauf aber bilden sich Vacuolen, während sich allmählig in allen Zellen grosse Oeltropfen ausscheiden.“ Weiter zeigt er, dass die Zellen sich ganz so verhalten wie diejenigen gewisser Samen: das Plasma nämlich führt feine Oeltröpfchen und dazwischen zeigen sich Aleuronkörner.

Es geht aus dieser Beschreibung schon mit ziemlicher Gewissheit hervor, dass auch hier die Aleuronkörner eiweisserfüllte Vacuolen

---

1) Wechselbeziehungen zwischen Pflanzen und Ameisen. Jena 1888, p. 42.

sind, was durch die Analogie mit Samenzellen noch wahrscheinlicher gemacht wird.

Um mehr Gewissheit zu bekommen, untersuchte ich die betreffenden Gebilde der Blätter von Acacia cornigera des Amsterdamer botanischen Gartens, einer Pflanze, welche sich genau verhält wie Schimper's A. clavigera und mit dieser wohl identisch ist. Ich hatte leider nur ältere Blätter zur Disposition; doch konnte ich zur Genüge feststellen, dass die Zellen der fraglichen Körperchen sich wie jene keimender Samen verhalten. Querschnitte, welche einige Zeit in Wasser gelegen hatten, zeigten zahlreiche Zellen mit deutlichem Plasma und meistens wenigen grossen Vacuolen. Durch verdünnte Salpetersäure wurde auch hier der Inhalt letzterer anfangs gleichmässig getrübt, während nachher die Trübung sich zusammenzog und die Umrisse der Vacuole demzufolge wieder deutlich wurden. Das Verhalten ist also dem früher mitgetheilten (vergeiche p. 457) völlig gleich.

III. Abschnitt.

Die Bildung der Krystalloide, welche nicht in Aleuron eingeschlossen sind.

Es finden sich bekanntlich in den verschiedensten Pflanzentheilen Krystalloide vor, welche nicht in Aleuronkörner eingeschlossen sind, und es ist die Frage, ob sie sich überall in gleicher Weise bilden, wie dies beim oxalsauren Kalk der Fall war, oder ob die Eiweissablagerung in krystallisirter Form in den verschiedensten Theilen der Pflanzenzelle stattfinden kann. Letzteres ist a priori wahrscheinlicher: besitzen wir doch Beobachtungen über Krystalloide innerhalb der Zellkerne und Amyloplaste. Ueber die Ablagerung in anderen Fällen ist sehr wenig bekannt: Ich fand nur folgende Angabe bei van Tieghem[1]) für die Eiweisskrystalle von Pilobolus cristallinus:

„La plupart nagent en effet librement dans le suc cellulaire; certains sont encore empatés dans la couche parietale, mais ils ne

---

1) Ann. de sc. nat. Sér. VI, T. I, 1875, p. 25.

tardent pas à s'en dégager[1]) au fur et à mesure qu'elle s'use et s'amincit."

Doch mit diesen Worten in offenbarem Gegensatze heisst es weiter:

„Étant insoluble dans le suc cellulaire comme dans l'eau, elle" (la mucorine) „y cristallise avec des caractères spéciaux, et devient perceptible à nos sens"[2]).

Meine eigenen Untersuchungen lasse ich jetzt folgen und zwar anfangend mit:

Pilobolus cristallinus.

Es gelingt sehr leicht vorsichtig frei präparirte junge und alte Sporangienträger dieses Pilzes zur Plasmolyse zu bringen. Ich beobachtete es sowohl im Hängetropfen in der feuchten Kammer, als in dicken Schichten der üblichen eosinrothen Salpeterlösung, welche ich zwischen einem Deckgläschen und dem Objectträger durch einen Hollundermarkring capillar festhielt. Der Sporangienträger muss immer am Deckgläschen kleben; das Einsehen in die dicke Zelle ist dann mit Object D. von Zeiss sehr gut möglich. Die Plasmolyse war immer abnormal. Im bauchigen Theil sonderte sich öfters eine grosse Vacuole, welche die kleinen Calciumoxalatkrystalle enthielt; im Stiele sonderte sich immer eine Reihe kleinerer, während das Plasma sich roth färbte. In diesen letzteren fanden sich grosse Mengen kleiner octaedrischer Krystalloide.

In einem Fall bewegten sie sich deutlich unter dem Einfluss der Schwerkraft und sammelten sich schliesslich an der tiefsten Stelle der Vacuole an, in einem anderen konnte ich durch abwechselndes Zusetzen oder Aufsaugen von Flüssigkeit die Vacuole sammt den Krystalloiden im Stiele verschieben. Beim Zusetzen von verdünnter Salpetersäure platzte ihre Wand und die Umrisse der Eiweisskrystalle wurden viel schärfer. Nachherige Neutralisirung mit Ammoniak veranlasst sie zur Aufnahme des Eosins.

Wie gesagt sah ich diese Erscheinungen an alten und jungen

1) Das so oft erwähnte Ausstossen allerhand Körper aus dem Plasma in den Zellsaft ist wohl nur einmal wirklich gesehen, nämlich von Pfeffer als unzweifelhaft pathologische Folge der Aufnahme eines Anilinfarbstoffes.

2) l. c. p. 30.

Sporangienträger; wir dürfen daher annehmen, dass auch das Eiweiss bei Pilzen innerhalb der Vacuole zur Ausscheidung kommt, wie wir es vorher für die Samen der Phanerogamen gesehen haben.

Derbesia Lamourouxii und die Codiumarten.

Die von Klein in Herbarmaterial entdeckten, von mir in den lebenden Individuen der genannten Arten des Golfes von Neapel wiedergefundenen, schönen, octaedrischen Krystalloide wurden von mir mikrochemisch sowie ontogenetisch untersucht. Ueber erstgenannte Abtheilung der Untersuchung ist hier nur insoweit zu berichten, als dadurch die Krystalloid-Natur der betreffenden Körper bewiesen wird.

In Meerwasser, destillirtem Wasser, Alkohol und Glycerin bleiben sie unverändert, in concentrirten mineralen Säuren und Kalilauge verschwinden sie augenblicklich. In verdünnten Säuren und Kalilauge quellen sie stark auf; hierbei zeigt sich die auch für andere Krystalloide bekannte Thatsache, dass die äussere Schicht gegen Reagentien resistenter ist als die übrige Masse des Krystalloids. Jodjodkaliumlösung färbt sie dunkelgelb, Eosin roth und Methylgrün grünlichblau.

Dass auch diese Krystalloide in der Vacuole liegen wird durch folgende Beobachtung unzweifelhaft bewiesen: In dem langcylindrischen Thallus von Derbesia Lamourouxii sind die Krystalloide durch den dichten Chlorophyllbeleg des wandständigen Plasmas gar nicht oder nur undeutlich zu sehen. Schneidet man aber die Schläuche quer durch, so kommen sie immer in ansehnlicher Menge mit dem Zellsaft aus der Wunde zum Vorschein. Es tritt bei dieser Operation nur sehr wenig Protoplasma aus und die Krystalloide sind damit nie in Verbindung. Es zieht sich immer fast augenblicklich zurück, die Wundränder biegen sich zusammen und bilden eine Kuppel, welche die Wunde schliesst und später eine Cellulosehaut abscheidet. Durchschnitt ich die Zellen in destillirtem Wasser, so bildete das Plasma auch hier den provisorischen Wundverschluss, doch kam es nie zu einer Cellulosehautbildung, weil jede eben gebildete Kuppel immer wieder von einem neuen Strom vom Zellsaft mit Krystalloiden durchbrochen wurde.

Der eigenthümlich und viel complicirter gebaute Thallus der

Codiumarten erlaubte mir leider keinen so deutlichen Beweis, dass die Krystalloide innerhalb der Vacuolen liegen, doch schien mir bei einfacher Betrachtung der Zellen kaum Zweifel möglich, dass dieses auch hier der Fall sei.

Es ist also im höchsten Grade wahrscheinlich, dass auch die Algen sich in Hinsicht der Eiweissablagerung den Phanerogamensamen und Pilzen anschliessen werden, zumal weil auch Berthold[1]) für gewisse Florideen das Nämliche angiebt[2]).

Solanum tuberosum.

Dicht unter der Schale der Kartoffel findet man bekanntlich die schönen cubischen Eiweisskrystalle. Bei einfacher Betrachtung der betreffenden Zellen in 4procentiger Rohrzuckerlösung ist ihre Lage nicht mit Gewissheit zu bestimmen. Ich plasmolysirte desshalb Tangentialschnitte erwachsener Knollen mittelst eosinrother 10procentiger Salpeterlösung; die Plasmolyse war fast immer abnormal; das Plasma erstarrte und färbte sich langsam roth und die Vacuole sonderte sich öfters als eine anfangs runzliche farblose Blase, welche aber nach kurzer Zeit immer in der gewohnten Weise gespannt wurde (Taf. XIII, Fig. 7). Sie enthielt in seltenen Fällen einen kleinen Octaeder von oxalsaurem Kalk, doch nie das Krystalloid. Letzteres fand sich ausnahmslos sammt den Stärkekörnern im Plasma. Durch die Einwirkung der Salzlösung quellen sie um ein beträchtliches, allerdings ohne ihre regelmässige Gestalt zu verlieren und färben sich dabei deutlich roth; erst nach längerer Zeit jedoch heben sie sich deutlich dunkler gefärbt vom hellrothen Plasma ab.

Die Kartoffelkrystalloide unterscheiden sich also eigenthümlicherweise von allen anderen bisher untersuchten durch ihre Ausbildung im Plasma und ihre Unlöslichkeit in starken Salzlösungen.

Pothos scandens.

Diese Pflanze führt in den Epidermiszellen des Blattstieles überaus schön ausgebildete, regelmässig sechseckige Blättchen. Sie bestehen den Reactionen nach aus Eiweiss und sind also den hexagonalen Eiweisskrystallen einzureihen (Taf. XIV, Fig. 1).

---

1) Studien zur Protoplasmamechanik, p. 57.

2) Herr Dr. F. Went, zur Zeit in Neapel, hat die Freundlichkeit gehabt, die Richtigkeit meiner Vermuthung für Codium durch Versuche zu beweisen.

Sie kommen gewöhnlich nur in der Einzahl in einer Zelle vor, doch beobachtete ich einen Fall, wo sich zwei neben einander ausgebildet hatten. In zahlreichen Zellen suchte ich sie vergebens. Ihre Grösse ist sehr wechselnd, doch überschreiten ihre Nebenachsen nicht eine Länge von 24 μ. Die Hauptachse ist sehr kurz, wohl nie 4 μ.

Sie lösen sich langsam ohne Quellung in verdünnter Salzsäure ($^1/_2$) und verschwinden plötzlich, wenn sie mit Kalilauge in Berührung kommen. Sehr langsam lösen sie sich in Phosphorsäure und in concentrirter Oxalsäurelösung. Auch hierbei findet keine Quellung statt.

Durch die Einwirkung der üblichen 10procentigen Salpeterlösung mit Eosin tritt auch hier in vielen Zellen die Vacuole als eine gespannte Blase aus dem todten rothen Plasma aus. Der Krystall zeigt sich dann immer innerhalb ersterer (Taf. XIII, Fig. 9). Durch Erwärmen kann man die Vacuole zum Platzen bringen und der Krystall kommt dann öfters frei in der Zelle zu liegen. Es tritt aber keine Rothfärbung ein. Ebenso wenig geschah dieses, wenn ich mittelst 2procentiger Sublimatlösung in Alkohol getödtete Epidermisstücke während drei Tage in einer Eosinlösung verweilen liess. Sie traten dann noch immer farblos hervor, obwohl Kern und Protoplasma überall roth gefärbt waren.

Dass ich trotz dieser eigenthümlichen Verhältnissen doch die Pothoskrystalle bei den Krystalloiden unterbringe, hat wohl hauptsächlich seinen Grund in dem Umstande, dass sie durch längeres Aufbewahren in alkoholischer Sublimatlösung durchaus ihre Natur ändern und zum Beispiel sich dreimal 24 Stunden in verdünntem Kali unverändert erhielten.

Weiter will ich zur Stütze dieser Meinung noch hinzusetzen, dass die fraglichen Gebilde sich sehr schön roth färben in ammoniakalischer Eosinlösung und dass durch successive Behandlung mit Salpetersäure und Ammoniak eine deutliche Gelbfärbung eintritt. Zu gleicher Zeit werden die Blättchen, welche im intacten Zustande immer flach sind, verbogen und gekrümmt.

Die nämlichen Krystalle fand ich auch, doch sehr selten, in der Oberhaut der Blattspreite, sowie in der subepidermalen Parenchym-

schicht des Blattstiels. Ob sie auch in anderen Theilen der Pflanze vorkommen, habe ich nicht untersucht.

Sehr eigenthümlich ist es, dass sie sich nur in Zellen finden, welche an eine todten Zelle grenzen oder sich in der Nähe einer solchen finden (Taf. XIV, Fig. 1). Letztere sind immer mit dichter, körniger Masse erfüllt, welche theilweise aus Eiweiss, theilweise aus Kalksalzen gebildet ist.

Ueber die Ursache dieser eigenthümlichen Verhältnisse wage ich es nicht, eine Vermuthung auszusprechen.

Hyacinthus candicans.

Es war Leitgeb[1]), welcher die eigenthümlichen Krystalloide dieser Pflanze entdeckte; sie finden sich schön ausgebildet innerhalb des Zellkerns des Perigons; gewöhnlich in jedem Kern mehrere Stück. Bereits in noch jungen Knospen sind sie deutlich und finden sich wohl ohne Zweifel immer innerhalb eines mit Flüssigkeit gefüllten Raumes. Dass dieser Raum nicht eine Vacuole im physiologischen Sinne, welche das Wort durch die Arbeiten von de Vries und Went erhalten hat, ist, erhellt schon aus der einfachen Betrachtung seiner Lage innerhalb des Zellkerns. An solcher Stelle doch kann nicht die Rede sein von einem Beeinflussen des Turgors, und ebenso deutlich ist, dass dieser Raum im allerjüngsten Zustande des Kerns nicht da war. — Plasmolyse giebt auch hier weiter noch einen deutlichen Beweis, dass der Raum im Zellkerne keine Vacuole ist. Während letztere doch durch wasserentziehende Mittel immer kleiner werden, vergrössert sich jener Raum bei der Einwirkung einer 10procentigen Salpeterlösung unter dem Mikroskop öfters sehr merkbar, und er trennt sich nie als eine gespannte Blase vom getödteten Plasma.

Die Vergrösserung bei der Plasmolyse ist meines Erachtens nur zu erklären als eine Quellung des im Raume des Kerns enthaltenen Stoffes, welcher durch die Verkleinerung der Vacuolen erst jetzt Platz gewinnt, um sich auszudehnen. Die Krystalloide verlieren hierbei nichts von ihrer Deutlichkeit.

---

1) Krystalloide in Zellkernen. Mitth. a. d. Bot. Inst. zu Graz, Heft I, 1886. p. 113.

Die Krystalloidbildung in Kernen, welche bekanntlich schon vor Leitgeb von anderen Forschern bei Lathraea squamaria, Pyrola spp., den Lentibulariaceen etc. beobachtet wurde, scheint mir eine eigenthümliche Desorganisation des Zellkerns anzuzeigen und ist physiologisch wohl von geringer Wichtigkeit. — Dieses darf jedenfalls nicht behauptet werden von den meines Erachtens überaus wichtigen Krystalloiden der Trophoplaste, welche durch die Untersuchungen Schimper's und A. Meyer's so erforscht sind, dass ich ihren Resultaten wohl nur wenig oder gar nichts neues hinzufügen könnte. Ein Desorganisationsproduct sind sie gewiss nicht; über ihre physiologische Bedeutung ist jedoch das letzte Wort wohl noch nicht gesagt.

III. Theil.

Das Oel.

Einleitung.

Die Bildung des Oels oder besser der ölartigen Substanzen innerhalb der Zelle ist schon vielfach Gegenstand der Discussion gewesen, ohne dass jedoch die Frage bisher endgültig gelöst erscheint. Weil ich diesen Theil nicht als Hauptzweck meiner Untersuchungen betrachtet habe, scheint mir eine ausführliche Uebersicht der vertretenen Ansichten überflüssig, zumal weil meine bisherigen Untersuchungen nicht für eine allgemeine, überall gleiche Bildungsweise sprechen. In dem einem Falle entsteht das Oel gleichmässig in allen Theilen eines Protoplasten, in einem anderen findet sich in der Zelle eine bevorzugte Stelle zur Oelbildung vor. Dass es sich überall im Plasma ausbildet, ist wohl eine allgemein anerkannte Thatsache.

Allerdings behauptet Pfeffer[1]): „Die Entstehung der Oelkörper stimmt bei allen untersuchten Lebermoosen darin überein, dass in jugendlichen Entwickelungsstadien der Blätter eine sehr grosse Menge von ölartigen Tröpfchen in der Zellflüssigkeit auftritt. Je nachdem

1) Oelkörper der Lebermoose. Flora 74.

nun diese Tröpfchen zu homogenen Massen verschmelzen oder getrennt bleiben und sich zu Aggregaten vereinen, kommen Oelkörper von öltropfenartigem oder von emulsionsartigem Aussehen zu Stande" (p. 15). Doch ist hier unter Zellflüssigkeit wohl nicht der Inhalt der Vacuole zu verstehen.

Er beschreibt es für Alicularia scalaris, Plagiochila asplenioides, Mastigobryum trilobatum, Radula complanata und Lunularia vulgaris.

Heisst es doch weiter:

„Auch hier" (d. h. wie bei Radula) „bleibt bei Einwirkung verdünnten Alkohols eine die ursprüngliche Form des Oelkörpers nur sehr annähernd bewahrende membranartige Hülle, die von den meist sehr schnell zusammenfliessenden Oeltropfen nur zur Hälfte ausgefüllt wird" (p. 4) und:

„Die Hüllhäutchen . . . stimmen in Aussehen und Verhalten ganz mit den Häutchen überein, welche beim Lösen der Proteinkörner zurückbleiben, und bestehen wie diese offenbar aus irgend einem eiweissartigen Stoffe. Die fraglichen Häutchen färben sich mit Jod und Cochenille und sind in verdünnten Alkalien und Säuren, sowie in kochendem Wasser unlöslich" (p. 9).

Die Lebermoose werden unten noch eingehend besprochen.

Ebenso allgemein anerkannt ist es wohl, dass die Oeltröpfchen der Chlorophyllkörner nicht stärkebildender Monocotylen kein Assimilationsproduct sind, sondern eher den Anfang einer Degeneration andeuten. Schon Meyer[1]) zeigte dies und meine allerdings vereinzelten Beobachtungen stimmen mit den seinigen überein. Ich erwähne nur, dass ich ältere Blattstücke von Bromelia Sceptrum und Agave lurida, deren Chlorophyllkörner deutliche Oeltröpfchen zeigten, im feuchten Raume und bei ziemlich hoher Temperatur vier Tage im Dunklen aufbewahrte. Nachher untersucht, waren die Tröpfchen, zumal bei der erstgenannten Pflanze, auffallend viel deutlicher geworden und in den vergilbten Körnern am grössten.

Weil sie aber fast ausschliesslich bei Gewächshauspflanzen gefunden sind, so lässt sich über ihre wahre Bedeutung in unserem Klima nur wenig mit genügender Gewissheit sagen.

Bei den Algen, speciell bei Vaucheria, scheint mir die Sache

---

1) Das Chlorophyllkorn.

nach den Untersuchungen Borodin's[1]) anders. Auch ich beobachtete hier die kleinsten Oeltröpfchen immer einem Chlorophyllkörper angehängt und nur die grössten anscheinend frei. Eine genaue Untersuchung zahlreicher anderer Algen möchte vielleicht eine grosse Menge grüne Oelbildner auffinden lassen, ebenso wie bei den Pilzen farblose.

Ich habe diese Gruppen nicht weiter untersucht, doch fand ich bei anderen Pflanzen solche Körper, von denen jetzt die Rede sein wird.

I. Abschnitt.

Die Ablagerung und der Verbrauch des Oels bei Vanilla planifolia.

Gelegentlich meiner Untersuchung über die Bildung der Krystalle im Pflanzenkörper, über welche im ersten Theil ausführlich Bericht erstattet worden ist, studirte ich auch die Epidermis der Vanilla planifolia und entdeckte hier ein Organ, welches bisher nicht beschrieben worden ist und welches meines Erachtens eine hohe Bedeutung hat für die Kenntniss vom Bau des Protoplasmas.

Die Epidermiszellen der Blätter der obengenannten Vanillaart sind im halberwachsenen Blatte polyedrisch, sehr flach und haben schon ziemlich dicke Wände. Ober- und Unterseite sind einander gleich, doch finden sich die Spaltöffnungen nur auf letzterer. Der Zellwand anliegend sieht man als dünne Schicht das wandständige Protoplasma von körniger Beschaffenheit, und in der Mitte der Zellen den relativ grossen Zellkern. Um den Zellkern herum liegen die viel kleineren kugeligen Amyloplaste, die hier wohl immer inactiv sind. Es findet sich nun aber noch ein anderer Körper in jeder Zelle, welcher sich öfters, wie die Amyloplaste, dem Kern dicht anschmiegt, bisweilen aber auch in einem mehr entfernten Theil der Zelle sich vorfindet. Ich habe diesen Körper, weil er aus protoplasmatischem Stoff besteht und Oel enthält, Elaioplast oder Oelbildner genannt (Taf. XIV, Fig. 2 und 3).

---

1) Wirkung des Lichts auf Vaucheria. Bot. Zeit. 1878, No. 32.

Der Oelbildner ist etwas grösser als der Zellkern (7 μ) und misst ungefähr 8—12 μ und also viel grösser als die Amyloplasten, welche nur eine Grösse von 1,5 μ erreichen. Er besitzt sehr scharfe Umrisse und einen eigenthümlichen, fast gelblichen Glanz, welcher wohl von dem in ihm enthaltenen Oel herrührt. Die Oberfläche ist anscheinend runzelig. Durch all diese Eigenschaften ist er in der lebenden Zelle sehr deutlich zu sehen und hebt sich überall scharf von den übrigen Theilen des Protoplasten ab. In jeder tafelförmigen Zelle findet sich nur ein Elaioplast, während die Amyloplaste ziemlich zahlreich sind. Warum ich für diesen eigenthümlichen Körper den Namen Elaioplast gewählt habe, wird aus nachfolgenden mikrochemischen Untersuchungen ohne Schwierigkeit erhellen. Ich behandle den Einfluss der Reagentien kapitelweise nach einander.

Plasmolyse. Durch Plasmolyse kann man sich leicht überzeugen, dass der Elaioplast einen Theil des Protoplasmas bildet und nicht etwa in der Vacuole liegt. Ich plasmolysirte mit 10- oder 20procentigen Salpeterlösungen, welche bekanntlich die Eigenschaft besitzen, das Protoplasma zu tödten und die Vacuole als lebendige farblose Blase austreten zu lassen. Allerdings gelingt dies nicht mit vielen Zellen der jungen Vanillaepidermis, doch finden sich in jedem Präparate eine genügende Anzahl, wo sich der Elaioplast im contrahirten Plasma zeigt, während die Vacuole sich nur mit Flüssigkeit gefüllt an der anderen Seite der Zelle findet. Wenn ich mittelst Eosin rothgefärbte plasmolysirende Lösungen benutzte, so waren die Bilder besonders instructiv. Der Elaioplast bleibt unverändert erhalten und zeigt sich immer im contrahirten rothen Plasma. Es konnte nicht constatirt werden, dass er intensiver rothgefärbt war als letzteres, eher schien das Umgekehrte der Fall zu sein, doch ist es schwierig, in diesem Zustande über diese Frage Gewissheit zu erlangen (Taf. XIII, Fig. 4).

Pikrinsäure. Eine concentrirte Lösung dieses Stoffes bringt das Oel zum Austreten; das übrige Plasma wird sehr schön fixirt und auch der Elaioplast bleibt erhalten (Taf. XIV, Fig. 4). Das Oel bleibt immer mit letzterem in Verbindung und fliesst nie fort. Nahezu immer bildet sich ein grosser Tropfen, ungefähr von der Grösse des Elaioplasten, bisweilen treten auch mehrere kleinere Tropfen aus, doch geschieht dies nicht so oft wie bei der Einwirkung

von Schwefelsäure. Es ist deutlich, dass die Pikrinsäurepräparate ganz besonders geeignet sind, um die Eigenschaften des Oels zu studiren, sowie um die Eigenschaften des Elaioplasten kennen zu lernen.

Kalilauge. In dieser Flüssigkeit wird das Plasma sehr durchsichtig und schliesslich völlig unsichtbar, nur der Elaioplast verändert sich nicht und tritt in der Zelle sehr scharf hervor; auch die Zellwände bleiben erhalten. Aus einigen wenigen Elaioplasten tritt das Oel aus; gewöhnlich ist dies aber nicht der Fall.

Untersuchte ich mittelst Pikrinsäure gehärtete Präparate, wo das Oel also aus dem Elaioplasten ausgetreten war, so konnte ich sehr schön beobachten, wie das Oel sich in Kalilauge von gewöhnlicher Temperatur löst. Hierdurch wird erklärt, warum es bei Behandlung von lebenden Zellen mit dieser Flüssigkeit nicht austritt, wie bei der Einwirkung der meisten anderen Reagentien.

Alkannatinctur zu einem Epidermispräparat von Vanilla zugesetzt wirkt nicht in allen Zellen in gleicher Weise. In den meisten Zellen tritt mehr oder weniger Oel aus, welches sich dann sofort roth färbt; nur selten geschieht dies in schönen, runden, grossen Tropfen, wie bei der Einwirkung der Pikrinsäure. Oefters auch tritt gar kein Oel aus und der ganze Elaioplast färbt sich mehr oder weniger schön roth. — Die hübschesten Bilder erhielt ich demnach auch, wenn ich Epidermisstücke, welche wenigstens 24 Stunden in concentrirter Pikrinsäure verweilt hatten, nach sorgfältigem Auswaschen mit Alkannatinctur übergoss und abspülte: es färbten sich dann immer nur die ausgetretenen Oeltropfen roth.

Schwefelsäure. Setzt man zu einem Präparat concentrirte Schwefelsäure hinzu, so sieht man, wie eine Flüssigkeit als ein oder mehrere kleine Tropfen aus dem Elaioplast austritt, alles andere verschwindet allmälig. Die Tropfen bleiben erhalten, und wenn man alkoholische Alkannatinctur zusetzt, färben sie sich in kurzer Zeit schön roth. Süsst man die Schwefelsäure erst mittelst destillirtem Wassers aus, so wird der Plasmakörper allmählig wieder deutlicher sichtbar und das Oel mischt sich damit, setzt man dann Alkannatinctur hinzu, so sieht man das rothgefärbte Oel als kleinere, unregelmässige Tropfen im fast ungefärbten Plasma.

Erwärmt man das Präparat in concentrirter Schwefelsäure, so

sieht man anfangs die kleineren Tropfen aus einem Elaioplast zusammenfliessen, während bald nachher dies auch die Tropfen aus benachbarten Elaioplasten thun.

Osmiumsäure. Diese Säure liess ich in 1procentiger wässeriger Lösung im Dunkeln einwirken. Sie färbt in kurzer Zeit den Elaioplasten dunkelbraun bis schwarz. Die nämliche Reaction giebt auch die von Strasburger als Fixirungsmittel empfohlene Chrom-Osmium-Essigsäure; demnach ist dieses Gemisch in dem vorliegenden Falle nicht zur Härtung brauchbar, wenn man die gehärteten Präparate auf Farbenaufnahme untersuchen will. Eine einfache 1procentige Chromsäurelösung ist zu diesem Zweck am brauchbarsten; doch tritt auch in dieser Flüssigkeit das Oel bisweilen aus.

Die Osmiumsäurereaction gelang mir am schönsten, wenn ich folgenderweise verfuhr: Neben das Präparat wird ein Tropfen der 1procentigen Osmiumsäurelösung gebracht und dann ein Deckgläschen, an welchem ein Tropfen concentrirter Schwefelsäure hängt, aufgelegt: gleich nach der ersten Einwirkung der Schwefelsäure mischt sie sich mit der Osmiumsäure und diese färbt die ausgetretenen Oelkugeln tiefschwarz; alles andere wird unsichtbar. Nach dem Auswaschen in einer grösseren Menge Wassers wird das Plasma wieder sichtbar und die Präparate können dann in Glycerin conservirt werden.

Ebenso schön sind die Pikrin-Osmiumsäure-Präparate. Epidermisstücke, welche 24 Stunden in concentrirter Pikrinsäure verweilt hatten, wurden gut ausgewaschen und in die 1procentige Osmiumsäure gebracht; es färben sich jetzt nur die ausgetretenen Oeltropfen, während der Elaioplast nahezu ungefärbt erscheint.

Absoluter Alkohol löst nach längerer Einwirkung das Oel aus den Epidermiszellen aus; es ist dies der Grund, warum Alkannatinctur in nicht vorher getödteten Zellen nicht immer ganz schöne Bilder hervorruft. In Pikrinsäurepräparaten färbt die Lösung momentan und man hat Zeit, den Alkohol abzugiessen, bevor die Lösung des Oels anfängt.

In lebenden Zellen ruft der absolute Alkohol ein Verschwinden der starken Lichtbrechung des Elaioplasten hervor: durch Auswaschen der Präparate und Einlegen in 1procentige Osmiumsäurelösung konnte ich mich aber leicht überzeugen, dass das Oel gelöst war, denn es

trat keine Schwarzfärbung mehr ein. An Pikrinsäurepräparaten konnte ich beim Durchsaugen von Alkohol mittelst Fliesspapier die Lösung der Oeltropfen unter dem Mikroskop direct beobachten.

Essigsäure. Eisessig wirkt ganz wie Schwefelsäure und Pikrinsäure. Das Austreten des Oels geht aber viel langsamer von statten, als bei der Einwirkung der erstgenannten Säure und ist also weit besser zu beobachten. Die Structur des übrigen Plasmas bleibt aber nicht so schön erhalten wie bei Einwirkung der Pikrinsäure und die Essigsäurepräparate wurden deshalb nicht weiter benutzt.

Hitze. Erwärmt man unter dem Mikroskop ein Präparat in 4procentiger Rohrzuckerlösung, so sieht man, noch ehe die Flüssigkeit kocht, das Oel aus den Elaioplasten austreten und als farblose Kugel damit in Verbindung bleiben. Der übrige Inhalt der Zelle wird dabei zu einer gleichförmigen, körnigen, todten Masse (Taf. XIV, Fig. 5). Kocht man die Flüssigkeit, anstatt leise zu erwärmen, so wird das Bild nicht halb so schön; die Oeltropfen vertheilen sich dann im todten Plasma und der Elaioplast ist nicht mehr zu sehen.

Cyanin. Ich benutzte von diesem prachtvoll blauen Farbstoff eine alkoholische Lösung, von welcher ich einige wenige Tropfen mit einer grösseren Quantität Wasser mischte. Diese Flüssigkeit ist ein ausgezeichnetes Färbemittel für Oele und dergleichen Körper[1]. Pikrinsäurepräparate, welche einige Zeit darin verweilt hatten, zeigten die Oeltropfen schön blau, während der Elaioplast hellblau war und alles übrige ungefärbt erschien. Bei zu lange anhaltender Einwirkung der Flüssigkeit wurde alles gleichmässig blau.

Saffranin in alkoholischer Lösung halbverdünnt mit Wasser. In diese dunkelgefärbte Flüssigkeit tauchte ich Pikrinsäurepräparate während kurzer Zeit, ungefähr eine Minute, ein und untersuchte sie nachher in Glycerin: Protoplasma, Kern und Amyloplaste sind dann dunkelbraun, die Oeltropfen farblos und der Elaioplast hellbraun gefärbt.

In der nämlichen Weise wirkte Saffranin, wenn ich es in sehr verdünnter wässeriger Lösung während einiger Stunden einwirken liess und zahllose andere Farbstoffe, welche ich nicht näher besprechen werde, z. B. Methylviolet und Eosin.

1) Man vergleiche Strasburger's Botanisches Praktikum 1884, p. 631.

Anilinblau-Alkanna. Soeben ist mitgetheilt, wie mit Wasser verdünnte Alkannatinctur die ausgetretenen Oeltropfen der Pikrinsäurepräparate roth färbt, während die übrigen Zellbestandtheile farblos bleiben. Dieser Umstand führte mich dazu, die Vanillaoberhaut einer Doppelfärbung zu unterwerfen, wozu die Anilinfarbstoffe vielleicht dienen könnten, weil jedenfalls die meisten das Oel nicht und die plasmatischen Theile intensiv färben. Ich wählte das Anilinblau, weil es in den genannten Hinsichten vielleicht das beste ist und weil es hübsch mit dem Roth des Alkanna contrastirt.

Zu einer dunkelblauen Lösung von Anilinblau in Wasser setzte ich so lange tropfenweise Alkannatinctur hinzu, bis die Flüssigkeit eine dunkelpurpurrothe Haematoxylinfarbe angenommen hatte. Pikrinsäurepräparate wurden ungefähr 20 Stunden in diesem Gemisch gelassen und nachher in verdünntem Glycerin untersucht. Das Plasma war hellblau, der Kern und die Amyloplaste dunkelblau, das Oel schön roth und der Elaioplast dunkelpurpur. Die Farben halten sich längere Zeit, selbst in Glycerin-Gelatin, wenn dieses Gemisch völlig neutral ist.

Eine 20stündige Dauer der Einwirkung der Farbstoffe ist nicht absolut nothwendig; wahrscheinlich wird der Zweck schon viel eher zu erreichen sein; doch macht es nichts aus, wenn die Zellen zu lange in der Flüssigkeit verweilen; zu starke Färbung scheint nicht leicht möglich. Natürlich kann man immer mittelst des Mikroskops nachsehen, ob die erwünschte Intensität der Farben erhalten ist.

In den Schliesszellen der Spaltöffnungen finden sich mehrere, aber viel kleinere Elaioplaste und dazu noch active Amyloplaste; durch Osmiumsäure werden erstere braun oder schwarz, durch Jod letztere wegen der in ihnen enthaltenen Stärke blau. Ohne Reagentien sind beide beinahe nicht zu unterscheiden, denn auch ihre Grösse stimmt ungefähr überein; doch ist diese bei beiden ziemlich wechselnd. Am deutlichsten ist der Unterschied zwischen beiden auch in Pikrinsäure-Anilinblau-Alkannapräparate.

Lebensgeschichte der Elaioplaste. In den alten Blättern der Pflanze ist jede Spur der Elaioplaste verschwunden und Einlegen in 1 procentige Osmiumsäure ruft nur ausnahmsweise in den Epidermiszellen eine Braunfärbung hervor. Auch die Amyloplaste treten hier sehr zurück, in vielen Zellen sind sie selbst durch

wässerige Anilinblautinctur nicht mehr nachzuweisen; nur der Kern ist noch deutlich sichtbar und die prismatischen oder octaedrischen Kalkoxalatkrystalle sind in schönster Weise ausgebildet. Nur in einigen wenigen Zellen sind noch kleine Oelkugeln mittelst Osmiumsäure nachweisbar; sie liegen aber durch die Zelle zerstreut und sind vermuthlich durch Desorganisation des Elaioplasten freigelegt. Sie finden sich sowohl in den tafelförmigen Zellen, wie in den Schliesszellen der Stomata.

Als Beispiele des allmähligen Verschwindens des Elaioplasten theile ich folgendes mit: Die Oelbildner eines wachsenden Blattes hattes am 8. Januar 1887 einen Durchmesser von 12 μ: genau drei Wochen später war letzterer nicht grösser als 6 bis 8 μ. Wieder drei Wochen später wurde abermals ein Stück des nämlichen Blattes untersucht und es wurden nur in wenigen Zellen noch Elaioplaste gefunden; die meisten zeigten die nur mittelst Osmiumsäure deutlich werdenden Oeltröpfchen.

Das nämliche wurde an mehreren Blättern constatirt.

Sehr eigenthümlich ist es, dass es mir in den jüngsten Anlagen der Blätter nicht gelang, eine Spur des Oelbildners zu finden; allerdings muss ich hinzusetzen, dass ich wegen Mangel an Material nicht viel danach habe suchen können.

Verbreitung. Die Elaioplaste finden sich nicht nur in den jungen Blättern der Vanilla, sondern auch in den oberflächlichen Zellen der jungen Luftwurzeln und im Stengel.

In der Wurzel fand ich sie immer im Velamen, in der Endodermis und in der Calyptra, doch scheinen sie sich ausnahmsweise auch in anderen Geweben zu zeigen (Taf. XIV, Fig. 6). Sie sind überall leicht zu sehen, wenn man Längsschnitte der Luftwurzel in 4procentiger Rohrzuckerlösung untersucht, und ich konnte sie mittelst 1procentiger Osmiumsäurelösung dunkelbraun färben. Es gelingt durch dieses Reagens, sie bis in der Nähe des Vegetationspunktes nachzuweisen, doch in den allerjüngsten Zellen färbt sich nichts mehr; wahrscheinlich sind sie auch hier vorhanden, doch sind noch nicht nachweisbar, weil sie noch kein Oel enthalten.

In einer gewissen Entfernung von der Spitze zeigen sie sich in der Calyptra sowie in der Endodermis, doch sind sie dann im Velamen noch nicht zu finden. Später sind sie auch hier deutlich. In

letzterem Gewebe sowie in der Calyptra sind sie immer am kleinsten. In der Endodermis ungefähr zwei bis drei Mal so gross.

Die Elaioplaste verschwinden in der Wurzel während des Lebens der betreffenden Zellen ebenso wie im Blatte, und zwar im Velamen einige Zeit bevor alles übrige Plasma schwindet.

Eine unter dem Namen V. aromatica latifolia in unserem Garten cultivirte Vanillaart, welche der V. planifolia sehr ähnlich ist, doch sich anatomisch leicht unterscheiden lässt, weil sie weder in den Epidermiszellen der Blätter noch in den jungen Velamenzellen Krystalle führt, zeigte die Elaioplaste ebenso deutlich wie die bisher studirte Art und an den nämlichen Stellen.

Diese Beobachtung ist hauptsächlich darum wichtig, weil dadurch gezeigt wird, dass Oelbildner und Calciumoxalatkrystalle nicht zu einander in directer Beziehung stehen, welches man vielleicht meinen konnte, weil die Zeit des Verschwindens des ersteren mit dem der Ausbildung der letzteren ungefähr zusammenfällt.

II. Abschnitt.

Die Oelablagerung bei den Lebermoosen.

Jungermannia sp.

Die Oelkörper dieser Pflanze sind gewöhnlich in der Dreizahl in jeder Blattzelle vorhanden. Sie sind gestreckt spindelförmig und haben einen etwas gelblichen Glanz, eine rauhe granulirte Oberfläche und stumpfe Enden (Taf. XIII, Fig. 10).

Die mikrochemische Untersuchung bestätigte gänzlich Pfeffer's Angaben und zeigte mir zu gleicher Zeit die auch von ihm beschriebene Membran, welche ganz ohne Zweifel protoplasmatischer Natur ist und demnach als Elaioplast betrachtet werden muss.

Dieses geht ausser aus den von Pfeffer mitgetheilten Reactionen sehr deutlich daraus hervor, dass die Oelkörper bei der Einwirkung plasmolytischer Reagentien sich als Theile des Plasmas erweisen.

20procentige Salpeterlösung mit Eosin erzeugt in allen Zellen Plasmolyse: öfters ist letztere normal; in zahlreichen Zellen wird aber das Plasma getödtet und roth gefärbt, während die Vacuole als

gespannte Blase sich in der Mitte der Zelle zeigt. In solchen Fällen befanden sich immer Oelkörper und Chlorophyllkörner im todten Plasma, während die Vacuole nur Flüssigkeit enthält. Die Oelkörper behalten ihre gebliche Farbe und heben sich dadurch deutlich braun von dem rothen Plasma ab (Taf. XIII, Fig. 11).

Eigenthümlich genug verursachen schwächere als 20procentige Salpeterlösungen nie abnormale Plasmolyse; mit einer 10procentigen ist bei einigen Lebermoosen fast gar keine Plasmolyse zu erzielen.

Von den Einwirkungen anderer Reagentien mögen folgende noch erwähnt werden.

Durch Erwärmen unter dem Mikroskop platzen die Oelkörper und man sieht eine unzählige Menge kleine Tröpfchen sich in der Zelle lebhaft herumtummeln.

Schwefelsäure verursacht starke Quellung aller Theile; auch die Oelkörper nehmen daran theil und in ihnen zeigt sich ein grosser klarer Tropfen. Wenn alles übrige verschwindet, erhalten sich diese Tropfen, ohne Veränderungen zu zeigen.

1procentige Osmiumsäure färbt die Oelkörper dunkelbraun; weil aber der Zellsaft viel Gerbsäure enthält und demzufolge tiefschwarz wird, tritt die braune Farbe niemals deutlich hervor. Der nämliche Umstand macht auch die gleichzeitige Anwendung von Osmium- und Schwefelsäure erfolglos. Es schwärzt sich auch jetzt die Gerbsäure und die Oeltropfen bleiben ungefärbt.

1procentige Chromsäure fixirt den Zellinhalt völlig. Setzte ich zu solchen Präparaten Osmiumsäure hinzu, so wurden die Oelkörper allerdings gefärbt, doch immer sehr schwach, weil sie gewissermaassen nur wenig Oel enthalten. (Man vergleiche die Einwirkung absoluter Alkohol- und Pikrinsäure.)

Pikrinsäure fixirt den Zellinhalt der Jungermanniablätter nicht. Nach 24 Stunden in einer concentrirten Lösung dieses Stoffes verweilt zu haben sind die Oelkörper unkenntlich geworden, und es findet sich in jeder Zelle ein grosser Oeltropfen.

Beobachtete ich die Einwirkung dieser Lösung unter dem Mikroskop, so konnte ich auch hier sehr deutlich die Wand des Oelkörpers sehen. Innerhalb letzterer zeigen sich die Oeltröpfchen in lebhafter Bewegung; gewöhnlich platzte unterdessen die Wand und die Tröpfchen schwärmen dann in dem Zellsaft herum. Oefters

traten sie auch zu einem einzigen grossen Tropfen zusammen, welcher sich nicht weiter veränderte.

Alkannatinctur färbt unter gewissen Umständen das Oel deutlich roth. Es muss aber immer verdünnt mit Wasser angewandt werden, weil unverdünnter Alkohol das Oel löst.

In Chromsäurepräparaten werden die Oelkörper durch Alkanna nur hellrosa und zwar aus demselben Grunde, warum auch Osmiumsäure nur eine bräunliche Farbe hervorruft. Wirkte verdünnte Alkannalösung aber auf lebende Zellen ein, so färbte sich immer der im Innern der Wand sich bildende Oeltropfen schön roth, während alles andere ungefärbt blieb.

Mittelst Anilinblau-Alkanna erhielt ich keine schöne Präparate, weil ersterer Farbstoff anscheinend nicht durch die Zellwand zu dringen vermag. Die Chlorophyllkörner wurden höchstens bläulich.

Essigsäure macht die Oelkörper anfangs körnig, bald gerathen diese Körnchen in lebhafte Bewegung und man sieht, wie sie sich innerhalb der dünnen Membran, welche öfters ganz genau die Gestalt des ursprünglichen Körpers behalten hat, lösen. Bei der weiteren Einwirkung tritt eine allgemeine Desorganisation ein und auch die genannte Membran verschwindet. Verdünnte Essigsäure wirkt wie concentrirte und wie verdünnter Alkohol, doch erhält sich hier die Wand wohl nie so schön, wie in dem letzteren Reagens.

Absoluter Alkohol löst ebenso das Oel heraus; eine Färbung des letzteren mittelst alkoholischer Alkannatinctur ist also unmöglich. Verdünnter Alkohol wirkt in der von Pfeffer beschriebenen Weise. Man sieht die Oelkörper körnig werden; die Körnchen oder besser Tröpfchen gerathen bald in Bewegung, sie fliessen zu einem einzigen zusammen; die Wand tritt einstweilen immer deutlicher hervor und schliesslich zeigen sich in allen Zellen kleine runde Oeltropfen in der viel grösseren Wand des Oelkörpers, welcher genau seine urspüngliche Form bewahrt. Ich konnte solcherweise hergestellte Präparate in verdünntem Glycerin aufbewahren. Absoluter Alkohol wirkte wie verdünnter, doch schrumpfen hier die Wände der Oelkörper ganz beträchtlich zusammen und erhalten sich demnach nicht so schön. In vielen Zellen sind sie doch ganz deutlich.

Radula complanata, Scapania nemorosa und Frullania dilatata.

Die grossen Oelkörper der erstgenannten Pflanze verhalten sich wie die von Jungermannia. Schwefelsäure macht das Oel austreten und zusammenfliessen, während alles übrige schwindet; Osmiumsäure färbt die Oelkörper dunkelbraun, während der übrige Inhalt der Zelle ungefärbt bleibt, und bei der Einwirkung beider Säuren zu gleicher Zeit treten hübsche dunkelbraune Oeltropfen auf, wodurch das Bild stark an das von der Vanillaepidermis unter gleichen Umständen erinnert. Beim Hinzusetzen von verdünntem Alkohol oder Pikrinsäurelösung trat die Wand des Oelkörpers auch hier deutlich hervor, während sich alles Oel zu einem grossen Tropfen ansammelt. Beim Erhitzen platzt auch hier die Wand und zahllose kleine Tröpfchen schwärmen im Zelllumen herum. Die nämlichen Resultate erhielt ich bei der Untersuchung von Frullania dilatata und Scapania nemorosa.

Die Einwirkung einer 20 procentigen Salpeterlösung auf Scapania nemorosa und Radula complanata hat genau dieselben Folgen wie bei Jungermannia. In den Zellen, wo die lebendige Vacuole sich als gespannte farblose Blase vom todten, rothen Plasma sondert, zeigten sich immer die Oelkörper innerhalb letzterem. Bei erstgenannter Pflanze findet die Trennung in zahlreichen Zellen statt, bei Radula mit den unverhältnissmässig grossen Oelkörpern konnte ich nur in einigen wenigen Zellen eines jungen Blattes die Trennung zu Stande bringen. Auch die vermuthlichen Oelkörper des Philidium ciliare zeigten sich bei gleicher Behandlung immer im Plasma. Bei Frullania dilatata und Metzgeria furcata gelang es mir nicht, mehr als einen Anfang von Plasmolyse zu Stande zu bringen; doch kann es nach dem Obengesagten kaum angezweifelt werden, dass auch hier die Oelkörper im Plasma liegen.

Die jüngsten Zustände der Oelkörper der Lebermoose.

Es ist klar, dass nur die Untersuchung der jüngsten Zustände der Oelkörper die Frage nach einer eigenen Wand endgültig entscheiden kann. Entstehen doch entweder Oeltröpfchen an beliebigen Stellen des Protoplasmas und fügen sich später zusammen, wodurch der Oelkörper entsteht, oder sie bilden sich an einer scharfumgrenzten

Stelle innerhalb einer eigenen Wand, welche später bei der Einwirkung verdünnten Alkohols wiedergefunden wird. Die letztere Entstehungsweise ist schon a priori viel wahrscheinlicher als die erstere, weil bei der Oelbildung an beliebigen Stellen das Erscheinen der Membran absolut unerklärlich bleibt. Dessenungeachtet war sie bisher die allgemein angenommene.

Wenn von Pfeffer (vergl. p. 473) mit „Zellflüssigkeit“ der Inhalt der Vacuole gemeint ist, so kann seine Angabe natürlich nicht richtig sein. Wie früher gezeigt worden ist, liegen doch die erwachsenen und halberwachsenen Oelkörper innerhalb des Plasmas, und ein Uebertreten aus der Vacuole in das Plasma ist wahrscheinlich unmöglich, jedenfalls noch nie gesehen.

Zur genaueren Untersuchung der Sache eignen sich ganz besonders die grossblättrigen Moose, wie Scapania nemorosa und Radula complanata; die übrigen von Pfeffer genannten Arten standen mir leider nicht zur Verfügung. Bei beiden Pflanzen gelingt es leicht, in der Nähe der Stengelspitze Blätter aufzufinden, an deren Spitze die Oelkörper schon völlig ausgebildet sind, während die Basalzellen noch keine Spur davon zeigen.

An der Grenze zwischen diesen beiden Theilen finden sich die Entwickelungszustände. Bei Scapania treten sie ziemlich plötzlich als schlauchförmige, scharfumgrenzte Organe auf, in welchen noch kein Oel zu sehen ist. Das nämliche geschieht an gleichem Orte bei Radula complanata. Hier ist alles wegen der Grösse der betreffenden Theile viel besser zu beobachten. Die jüngsten Zustände zeigen sich hier als scharfumgrenzte, dunkelcontourirte Stellen, in denen sich kleine Tröpfchen, in lebhafter Molekularbewegung begriffen, zeigen. Mehr nach der Spitze des Blattes hin werden die Tröpfchen immer zahlreicher, bis sie sich zuletzt als stellenweise zu grossen Tropfen zusammengeflossen zeigen. Die Wand hat sich einstweilen bis zum doppelten Volumen gedehnt und ist weiter mit kleinen Tröpfchen dicht erfüllt. Die Contour, welche bei den jüngsten Zuständen ziemlich unregelmässig ist, bekommt ihre gewöhnliche öfters sehr regelmässige elliptische Gestalt, und weitere Veränderungen treten nicht mehr ein. Es folgt meines Erachtens aus der Bildung der ersten Oeltröpfchen innerhalb der unregelmässig dunklen Contour ganz ohne Zweifel, dass das Oel sich ebenso wenig

in den jungen wie in den alten Zellen innerhalb der Vacuole vorfindet.

Um mich zu überzeugen, dass in den Zellen, wo noch keine Spur des Oelkörpers sichtbar ist, sich nicht das Oel schon vielleicht gleichmässig im Plasma vertheilt vorfindet, setzte ich zu dem obenbeschriebenen Präparat Schwefelsäure hinzu, in welcher Flüssigkeit sich das Oel bekanntlich nicht löst, sondern zu grossen Tropfen zusammenfliesst.

Das Resultat liess keinen Zweifel übrig. Alle Zellen, welche, in Wasser liegend, keine Spur von Oel bemerken liessen, quollen zu einer gleichmässigen braunen Masse an, ohne dass etwas austrat, während die Oeltröpfchen, welche schon bei der Beobachtung im Wasser sichtbar waren, jetzt viel deutlicher hervortraten. Sehr schön war hierbei zu sehen, wie sich in den jüngsten Zellen nur wenig Oel fand und wie die Menge mit dem Alter zunahm.

Aehnliches fand ich auch bei der Untersuchung übereinstimmender Zustände junger Scapaniablätter.

Leider ist durch diese Mittheilungen der Ursprung der Elaioplasten nicht ausgemacht, es ist mir aber äusserst wahrscheinlich, dass es bei den Lebermoosen metamorphosirte Chlorophyllkörner sind. Vielleicht ist dieses auch bei Vanilla der Fall.

III. Abschnitt.

Die Ablagerung des Oels in Samen.

In der vorhergehenden Abtheilung dieses Aufsatzes ist im I. Abschnitte beiläufig schon dieses Gegenstandes gedacht, und daraus geht zur Genüge hervor, dass hier jedenfalls kein Analogon von Vanilla und den Lebermoosen vorliegt. Es zeigte sich mir bei allen untersuchten Pflanzen, dass die Ablagerung des Oels schon im jugendlichen Samengewebe stattfindet und dass es im Plasma keine dabei bevorzugte Stelle giebt. Im Gegentheil, immer fand ich die Oeltröpfchen gleichmässig im Plasma vertheilt (so z. B. sehr deutlich bei Scorzonera hispanica und Tragopogon pratensis, Taf. XV, Fig. 1 und 2), und auch bei jener Pflanze, welche ich auch in dieser

Hinsicht eingehender untersuchte, nämlich Ricinus communis, wo ich die Ablagerung des Oels sowohl an lebenden Geweben, wie an mittelst Osmiumsäure fixirten Präparaten studirte, war kein eigentlicher Oelbildner nachzuweisen (Taf. XV, Fig. 4, 5, 6 und 7). Allerdings ist dieses nicht absolut beweisend, weil es ja möglich ist, dass in allen diesen Fällen die Oeltröpfchen von einer eigenen, vom übrigen Plasma verschiedenen Wand umgeben sind, und dieses scheint mir öfters auch sehr wahrscheinlich; allein blosse Hypothesen können hier nicht helfen, und zu beobachten ist diese Wand jedenfalls nicht. Völlige Gewissheit zu erhalten wird noch dadurch besonders erschwert, dass in vielen Samen, auch ölhaltigen, Stärkebildung, im letzteren Falle allerdings für gewöhnlich nur transitorische, stattfindet, so dass eventuelle scharfumschriebene Plasmatheile auch noch als Amyloplaste gedeutet werden können. So finden sich z. B. in den allerjüngsten, noch theilungsfähigen Endospermzellen von Ricinus höchstwahrscheinlich solche Plasmatheile vor, doch gelang es mir nicht, eine Ablagerung des Oels innerhalb derselben nachzuweisen, und es ist mir demnach wahrscheinlich, dass es nichts weiter als Amyloplaste sind; zumal weil sie im Verhältniss zu den später erscheinenden Oeltröpfchen viel zu wenig zahlreich sind.

Zum Schluss will ich nur noch mittheilen, dass auch bei der Einwirkung von concentrirten Säuren und anderen ähnlich wirkenden Reagentien auf junge Endospermzellen von einer Wand der Oeltröpfchen nichts zu bemerken ist. Bekanntlich ist es gerade unter solchen Umständen, dass sie bei Vanilla und den Lebermoosen am deutlichsten hervortritt.

IV. Abschnitt.

Bemerkungen über Oelbildung bei Algen.

Laurencia obtusa und Plocamium coccineum.

Bei diesen beiden Meeresalgen fand Berthold[1]) eigenthümliche stark lichtbrechende Körper, welche mehr oder weniger rund, bohnen-

1) Beitr. z. Morph. und Phys. der Meeresalgen. Diese Jahrb. Bd. XIII, p. 708.

oder nierenförmig und farblos sind. Ich erwähne sie hier, weil sie meines Erachtens sehr nahe mit den Oelkörpern der Lebermoose verwandt sind und vermuthlich auch als Elaioplaste gedeutet werden müssen.

Leider kann ich für diese Meinung nicht genügend überzeugende Gründe beibringen, weil es mir derzeit in Neapel, wo die beiden Pflanzen einheimisch sind, an Zeit fehlte, um eingehende Untersuchungen über die Natur der fraglichen Körper anzustellen. Ich kann nur folgendes mittheilen:

Bei Laurencia obtusa findet sich in jeder Epidermiszelle ein solcher Körper; er hat gewöhnlich eine Grösse von 10 μ.

Absoluter Alkohol macht ihn anfangs körnig; bald bilden sich kleine Tröpfchen, welche unter lebhafter Bewegung zusammenfliessen und zu einem grossen Tropfen werden. Dieser wird nachher unregelmässig und verschwindet allmählig.

Verdünnte Kalilauge ruft ungefähr die nämlichen Erscheinungen hervor. Die grossen Tropfen halten sich aber länger und zeigen oft einen zusammengeschrumpften anhängenden Körper, worauf ich die Aufmerksamkeit speciell lenken möchte.

Concentrirte Schwefelsäure bringt alle Gewebetheile der Algen zum Aufquellen; nur die fraglichen Körper schrumpfen zusammen und lassen auch jetzt kleine Tröpfchen austreten, welche zusammenfliessen und noch sehr lange sichtbar bleiben, wenn alles übrige verquollen ist. Sie sind dann braun gefärbt, vermuthlich weil sie die Farbe der Desorganisationsproducte aufspeichern.

Die übereinstimmenden Körper von Plocamium coccineum verhalten sich in derselben Weise; bei der Einwirkung der Schwefelsäure färben sie sich purpur durch das von der Säure modificirte Phycoerythrin.

Uebereineinstimmende Gebilde kommen nach Berthold auch vor bei Rhizophyllis dentata und Sphaerococcus coronopifolius, welche Pflanzen ich damals aber nicht zur Verfügung hatte.

Aus den angeführten Beobachtungen geht zwar nicht unzweifelhaft hervor, dass hier Oelkörper vorliegen, doch scheint mir solches zumal durch die Schwefelsäurereaction äusserst wahrscheinlich. Ich denke mir sie gebaut wie ein Schwamm mit äusserst glatter Oberfläche, welcher aus protoplasmatischer Substanz besteht und in dessen

Maschen sich das Oel vorfindet, welches durch wasserentziehende Mittel ausgetrieben wird.

Ueber Zweck und Entwickelung können natürlich nur weitere Untersuchungen Aufschluss geben.

Anhang.

Closterium sp.

Die Arten von Closterium wie die des verwandten Geschlechts Pleurotaenium enthalten die bekannten, schön runden Vacuolen, in welchen sich kleine Kryställchen lebhaft herumtummeln. Wenn irgendwo, so ist es hier unzweifelhaft, dass die Kryställchen Producte der Vacuole sind. Doch ist behauptet worden, dass sie sich im Plasma ausbilden und später in die Vacuole gelangen würden, wahrscheinlich unter dem Einfluss der irrigen Vorstellung der nachherigen Vacuolenbildung. Dieser Punkt bedarf demnach vielleicht erneuter Untersuchung.

Andere Vorkommnisse in Vacuolen.

Ich will schliesslich noch ein paar Körper erwähnen, welche ich in Vacuolen gefunden habe, ohne auf die Entdeckung viel Gewicht legen zu wollen. Nur eins von beiden scheint mir einigermaassen wichtig, weil es sonderbare Eigenschaften des Protoplasmas zu Tage brachte.

Beide zu erwähnende Körper fand ich in den Zellen der schon öfters erwähnten Vanilla planifolia. Ihre chemische Zusammensetzung ist mir ebenso wenig klar geworden, wie ihre physiologische Bedeutung. Hauptsächlich wohl desshalb, weil sie äusserst selten sind und sich nur ausnahmsweise in den betreffenden Geweben zeigten.

Das eine der fraglichen Körper fand ich in Velamen und Endodermis der Luftwurzeln (Taf. XV, Fig. 9). Es ist immer ein farbloser, gestreifter Körper, welcher der Wand der Vacuole dicht angeschmiegt ist und in deren Raum hineinragt.

Der zweite Körper ist nadelförmig und fand sich in den Oberhautzellen eines beinahe erwachsenen Blattes. Er löst sich in Essigsäure. Er ist mir aber hauptsächlich interessant wegen der eigen-

thümlichen Erscheinungen, welche er in plasmolysirten Zellen zeigt. Dass er innerhalb der Vacuole liegt, zeigt deutlich Taf. XV, Fig. 10. Aus Fig. 11 erhellt aber, dass er Vacuolenwand und Plasma durchbohren kann, ohne den Tod jener beiden zu verursachen, und aus Fig. 12, dass er bisweilen vom contrahirten Plasma gekrümmt wird. Beide Erscheinungen sind meines Erachtens gleich beachtenswerth. Merkwürdig ist, dass sowohl der nadelförmige wie der gestreifte Körper sich nur in calciumoxalathaltigen Zellen vorfindet, und weil sie sich beide ebenso wenig mit Jod wie mit Eosin färben, so liegt die Vermuthung nahe, dass wir hier auskrystallisirte Salze haben, welche unter normalen Umständen mit einem anderen Stoff das Calciumoxalat bilden. Ob dem so ist, muss ich leider unentschieden lassen.

Resultate.

Die Hauptresultate dieser Arbeit sind folgende:

1. Die Calciumoxalatkrystalle, welche sich innerhalb der Pflanzenzelle vorfinden[1]), bilden sich ausschliesslich in Vacuolen.

2. Das Mitschleppen der Krystalle durch die Plasmabewegung spricht nicht gegen diese Thatsache.

3. Die Celluloseschläuche von Rosanoff entstehen durch Absterben der betreffenden Zellen und nachheriger passiver Ausdehnung durch den Turgor.

4. Die Cellulosehüllen (resp. protoplasmatische Hüllen) werden nach Ausbildung des Krystalls diesem aufgelagert.

5. Aleuronkörner sind mit Eiweiss angefüllte Vacuolen.

6. Beim Austrocknen der reifenden Samen wird das in den Vacuolen gelöste Eiweiss fest.

7. Beim Aufweichen der Samen, welches der Keimung vorangeht, findet das Umgekehrte statt.

8. Bei der Bildung der Samen theilt sich die urprünglich einzige Vacuole jeder Zelle während der Bildung der Einschlüsse in eine sehr grosse Anzahl kleinere.

9. Auch vom 8. Satze findet das Umgekehrte während der Keimung statt. Die entleerten Zellen der ausgekeimten Samen enthalten wieder eine centrale Vacuole.

---

1) Diejenigen, welche sich in der Zellmembran finden, bilden sich wohl ohne Zweifel innerhalb derselben.

10. Das in den Vacuolen der reifenden und der keimenden Samen gelöste Eiweiss kann man durch mehrere Reagentien fällen (verdünnte Salpetersäure, absoluter Alkohol, Salzlösungen etc.). Man kann mittelst dieser Stoffe das langsame Verschwinden des Eiweisses beim Keimen im Dunkeln Schritt für Schritt verfolgen.

11. Die Globoide bilden sich in der Vacuole.

12. Die Krystalloide können sich an den verschiedensten Stellen der Zelle ausbilden und zwar:

In der Vacuole: Samen, Thallophyten, Pothos scandens,
im Plasma: Solanum tuberosum,
in Kernen und Plastiden.

13. Fettes Oel bildet sich immer im Protoplasma und zwar nach zweierlei Weise: An bevorzugten Stellen (Elaioplasten): Vanilla spp., Lebermoose, Vaucheria und vielleicht Laurencia und verwandten; oder gleichmässig im Plasma vertheilt: Samen.

14. Das Plasma kann während der Plasmolyse durchbohrt sein, ohne dass dadurch dessen Tod verursacht wird.

Figuren-Erklärung.

Tafel XII.

Fig. 1. Martynia formosa. Stück einer Drüsenhaarzelle des jungen Blattstiels in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin. N.—2.—5. Die Figur stellt eine lebendige Vacuole dar im erstarrten Plasma.

A. Horizontalstellung des Objecttisches. Die Krystalle zeigen sich in der Mitte (niedrigste Stelle innerhalb der Vacuole).

B. Nach Drehung des Objecttisches um 90°.

Unter dem Einfluss der Schwerkraft sind die Krystalle nach der jetzigen niedrigsten Stelle gefallen.

Fig. 2. Nicotiana Tabacum. Drüsenhaarzelle der Stengelspitze in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin. Das Plasma ist in zwei Theile gespalten, die linke Hälfte ist noch lebendig, die rechte dagegen ist gestorben und die Vacuole ist als farblose, gespannte Blase theilweise herausgekrochen. Innerhalb letzterer zeigen sich zwei kleine Calciumoxalatkrystalle.

a und a′ Lage der Kryställchen bei Horizontalstellung des Objecttisches.

b und b′ ihre Lage nach Drehung um 90°.

Beim Zurückdrehen kehrt a wieder in seine ursprüngliche Lage zurück; a′ nimmt aber die mit c′ angedeutete Stelle ein.

a ist ein kleiner Octaeder.

a' hat sehr unregelmässige Form.

n = Kern.

Der Deutlichkeit halber sind zahlreiche kleine Vacuolen wie v. nicht gezeichnet. Z.—2.—D.

Fig. 3. Mesembryanthemum crystallinum. Nach Zerschneiden eines Längsschnittes der Stengelspitze, welche einige Zeit in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin gelegen hatte, aus der Zelle herausgetretene Vacuole mit kleinen Rhaphiden. Eine kurze Zeit blieb sie als farblose, gespannte Blase innerhalb der rothen Flüssigkeit erhalten, platzte aber hernach. Aus freier Hand gezeichnet. Z.—2.—D.

Fig. 4. Mesembryanthemum crystallinum. Eine Zelle aus einem Längsschnitt der Stengelspitze in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin. Im todten, rothen Plasma sieht man die Vacuole mit den ersten Anfängen der Rhaphiden. Z.—2.—D.

Fig. 5. Impatiens Sultani. Eine Zelle in der Stengelspitze in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin.

A. Normale regelmässige Plasmolyse; die Rhaphiden ragen quer durch das Plasma in das Zelllumen hinein.

B. Nach leichtem Erwärmen unter dem Mikroskop: das Plasma ist getödtet und hat sich roth gefärbt; der Zellkern ist als dunkelrother Fleck dabei zum Vorschein gekommen. Z.—2.—D.

Fig. 6. Hoya carnosa. Eine Zelle aus dem Querschnitt eines 30 mm langen Blattes in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin. Die Druse innerhalb der lebendigen Vacuole. Das Plasma ist erstarrt und roth. Die Chlorophyllkörner braun. Der Innenwand der Vacuole haften kleine Kryställchen fest an. Z.—2.—F.

Fig. 7. Hoya carnosa. Wie oben aus einem 40 mm langen Blatte. Z.—2.—F.

Fig. 8. Citrus Aurantium. Eine Zelle aus einem Querschnitt eines 14 mm langen Blattstiels in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin. Die lebendige Vacuole ist als gespannte Blase aus dem todten rothen, Plasma ausgetreten. Sie enthält den Krystall. Z.—2.—F.

Fig. 9. Ricinus communis. Krystallzellenreihe aus einem Längsschnitt einer etiolirten Stengelspitze in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin. Normale regelmässige Plasmolyse. In vier Zellen sieht man deutlich die jungen Drusen innerhalb der Vacuolen. In den übrigen Zellen ist das Einsehen durch das Plasma gehindert. Z.-2.—D.

Fig. 10. Vanilla planifolia. Eine Zelle des Velamens einer jungen Luftwurzel in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin. Das Plasma ist erstarrt und roth; der Krystall zeigt sich innerhalb der lebendigen Vacuole. Z.—2.—D.

Tafel XIII.

Fig. 1. Vanilla planifolia. Eine Zelle der Oberhaut eines fast erwachsenen Blattes in 20procentiger Salpeterlösung mit Eosin. Das Plasma ist contrahirt und todt. Die Vacuole ist als gespannte Blase sammt dem Krystall ausgetreten. Z.—2.—F.

Fig. 2. Vanilla planifolia. Eine Zelle wie in Fig. 1 nach Erwärmen. Die Vacuole ist geplatzt und der Krystall liegt frei im Zellraum. Z.—2.—F.

Fig. 3. Vanilla planifolia. Fünf Zellen des Krystallschlauches aus einem Längsschnitt einer Luftwurzelspitze in 4procentiger Rohrzuckerlösung. r und r' = die Anfänge der Rhaphiden innerhalb der Vacuole. In den Vacuolen der drei übrigen Zellen ist die Krystallbildung noch nicht angefangen. r' zeigte Molecularbewegung. Z.—2.—F.

Fig. 4. Vanilla planifolia. Eine Epidermiszelle eines wachsenden Blattes in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin. e = Elaioplast im todten contrahirten Plasma. Innerhalb der gespannten farblosen Vacuolenwand zeigt sich kein Krystall, weil die Bildung des Calciumoxalats erst in einem späteren Stadium anfängt. Z.—2.—F.

Fig. 5. Ricinus communis. Eine Zelle aus dem jungen Endosperm in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin. Das Plasma ist erstarrt und todt. Innerhalb der gespannten Blase (Vacuole) liegt das Krystalloid.

Die Zelle wurde ursprünglich in 4procentiger Zuckerlösung beobachtet: während diese Flüssigkeit an der einen Seite entfernt wurde, floss an der anderen Seite des Deckglases immer mehr Salpeterlösung zu, schliesslich platzte die Wand der Vacuole und das Krystalloid löste sich augenblicklich auf. Z.—2.—F.

Fig. 6. Helianthus annuus. Eine Zelle aus den Samenlappen eines jungen Samens in 10procentiger Salpeteterlösung mit Eosin. Das Plasma ist erstarrt und es haben sich eine grosse und verschiedene kleinere Vacuolen als gespannte Blasen gesondert. Die jungen Aleuronkörner liegen darin. Die Zelle wurde ursprünglich in 4procentiger Zuckerlösung beobachtet; während diese Flüssigkeit an der einen Seite entfernt wurde, floss an der anderen Seite unter dem Deckglase immer mehr Salpeterlösung hinzu. Unterdessen verkleinerte sich die Vacuole, die Ränder der Aleuronkörner wurden angefressen und beim Platzen lösten sie sich ganz und gar. Z.—2.—F.

Fig. 7. Solanum tuberosum. Eine Zelle aus einem Tangentialschnitt einer erwachsenen Kartoffel in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin. Das Plasma ist erstarrt, es enthält das anfangs gleich hellroth gefärbte Krystalloid und die Stärkekörner. Ersteres quillt langsam auf. Nach einiger Zeit ist es viel dunkler roth als das Plasma. Die lebendige Vacuole enthält nur Flüssigkeit. Z.—2.—D.

Fig. 8. Ricinus communis. Eine Zelle aus dem jungen Endosperm nach Behandlung mit Chrom-Osmium-Essigsäure und Eosin. Das Plasma ist fixirt und zeigt die braune Oelreaction; die etwas gequollenen Krystalloide zeigen sich roth innerhalb der Vacuolen. Z.—2.—F.

Fig. 9. Pothos scandens. Eine Zelle der Oberhaut des erwachsenen Blattstiels in 10procentiger Salpeterlösung mit Eosin. Das Plasma ist contrahirt und todt; innerhalb der Vacuole zeigt sich ein sechseckiges Blättchen. Z.—2.—F. k = Kern.

Fig. 10. Jungermannia sp. Vier Zellen eines Blattes in Wasser; jede Zelle führt zwei oder drei Oelkörper. Z.—2.—F.

Fig. 11. Jungermannia sp. Eine Zelle wie oben in 20procentiger Salpeterlösung mit Eosin. Das Plasma ist erstarrt: Oelkörper und Chlorophyllkörner innerhalb desselben. Die Vacuole enthält nur Flüssigkeit. Z.—2.—F.

Tafel XIV.

Fig. 1. Pothos scandens. Oberhautzelle des erwachsenen Blattstiels in 4 procentiger Zuckerlösung mit zwei von Kalksalzen erfüllten todten Nachbarzellen. Innerhalb ersterer ist das Plasma in lebhafter Strömung begriffen: es zeigen sich der Kern und ein hexagonales Blättchen. Z.—2.—F.

Vanilla planifolia.

Fig. 2. Zwei Epidermiszellen eines sehr jungen Blattes in 4 procentiger Zuckerlösung. Der Elaioplast e neben dem Kern n wie die Amyloplaste a. Z.—2.—F.

Fig. 3. Fünf Epidermiszellen eines viel älteren Blattes, wie oben. Der Elaioplast ist im Verschwinden begriffen. Z.—2.—F.

Fig. 4. Eine Zelle der Epidermis, welche in Fig. 3 dargestellt ist, nach 24 stündiger Behandlung mit concentrirter Pikrinsäurelösung. Das Oel o ist aus dem Elaioplasten e ausgetrieben. Z.—2.—F.

Fig. 5. Eine Zelle wie oben, doch erwärmt in der Zuckerlösung. Auch hier ist das Oel o aus dem Elaioplasten e ausgetreten. Der übrige Zellinhalt ist undeutlich geworden. Z.—2—F.

Fig. 6. Vanilla aromatica latifolia. Velamen v und Endodermis o aus einem Längschnitt einer Wurzelspitze, in 4 procentiger Zuckerlösung. n = Kern, e = Elaioplast. Z.—2.—D.

Tafel XV.

Scorzonera hispanica.

Fig. 1. Eine Zelle aus der erwachsenen aber noch grünen Frucht (Samenlappen) in 4 procentiger Rohrzuckerlösung. Innerhalb der Vacuolen zeigen sich Krystalle von Calciumoxalat. Z.—4.—F.

Fig. 2. Zwei Zellen wie oben. Innerhalb der Vacuolen zeigen sich die Globoide. Z.—4.—F.

Fig. 3. Helianthus annuus. Zwei Zellen aus dem jungen Samenlappen in 4 procentiger Rohrzuckerlösung. In den Vacuolen zeigen sich die Anfänge der Aleuronkörner. Z.—2.—F.

Ricinus communis.

Fig. 4, 5, 6 und 7. Successive Zustände der Endospermzellen aus einem Querschnitt in 4 procentiger Zuckerlösung. Fig. 4 jüngster Zustand aus der Mitte des Samens; die übrigen immer mehr nach der Peripherie. In Fig. 6 und 7 zeigen sich die Anfänge der Aleuronkörner in den Vacuolen.

Fig. 8. Pastinaca sativa. Zwei Zellen eines Querschnittes des Samens in verdünnter Salpetersäure. Nach 24 stündigem Aufweichen in Wasser und dreitägigem Aufenthalte in feuchten Sägespähnen. In Wasser untersucht zeigten beide Zellen je eine grosse Vacuole v, in welchen die Krystalle o; beim Zufliessen der Salpetersäure füllte sich anfangs die ganze Vacuole mit einem Niederschlag,

welcher die Krystalle einhüllte. Bald contrahirte sich jener und nahm den in der Figur mit p angedeuteten Raum ein. Z.—2.—F.

Fig. 9. Vanilla planifolia. Zwei Zellen aus dem Velamen einer Luftwurzel in 4 procentiger Rohrzuckerlösung. Z.—2.—D.

n = Kern,
k = Krystall von Calciumoxalat,
a = Amyloplaste,
x = der fragliche Körper.

Fig. 10, 11 und 12. Vanilla planifolia. Oberhautzellen eines beinahe erwachsenen Blattes in 10 procentiger Salpeterlösung mit Eosin. Z.—2.—F. Fig. 10. Abnormale Plasmolyse. Die Nadel liegt sammt dem Kalkoxalatoctaeder in der Vacuole. Die beiden anderen Bilder zeigen regelmässige normale Plasmolyse: In Fig. 11 ist das Plasma von der Nadel durchbohrt, in Fig. 12 hat es letztere gebogen.

Ueber den Bau der Commissuren der Equiseten-scheiden.

Von

Dr. Carl Müller (Berlin).

Hierzu Tafel XVI—XX.

Vorbemerkung.

Die nachfolgende Darstellung soll nicht den Anspruch auf eine endgültig abgeschlossene Arbeit erheben, sie soll vielmehr nur die Perspektive für die Bearbeitung eines, wie ich erhoffe, nicht interesselosen weiteren Gebietes anatomisch-physiologischer Forschung eröffnen. Den Bau der Commissuren verwachsener Pflanzentheile im Allgemeinen zu erörtern und die hierbei auftretenden local-mechanischen Schutz- und Festigungseinrichtungen unserem Verständnisse zugänglich zu machen war die ursprüngliche Aufgabe, deren Lösung dem Verfasser vorschwebte. Die Bewältigung dieser Aufgabe erfordert aber einen nicht unbeträchtlichen Aufwand an freier Arbeitszeit, andererseits ist sie bedingt, was vielleicht noch schwerer in's Gewicht fällt, durch die Herbeischaffung eines umfangreichen Arbeitsmateriales, welches die Natur wohl im Sommer in Hülle und Fülle zu bieten vermag, welches aber im Winter, während dessen diese Arbeit entstand, zu beschaffen nicht leicht möglich sein konnte. Der definitive Abschluss der Arbeit hätte aus diesem Grunde um nahezu ein Jahr hinausgeschoben werden müssen. Angesichts dieser Lage zog es der Verfasser vor, die nachfolgende Darstellung, welche in einer ausführlichen Arbeit vermuthlich nur ein Kapitel

ausmachen würde, als eine einem bestimmten Zwecke angepasste, wenn man will, vorläufige Mittheilung der nachsichtigen Beurtheilung der Fakultät zu unterbreiten. Er ist sich dabei wohlbewusst, dass mancher Abschnitt einer wiederholten Durcharbeitung, mancher der behandelten Punkte einer tieferen Begründung bedürftig erscheinen wird, vielleicht auch einer späteren Correctur zu unterwerfen ist.

Was die Darstellung anbetrifft, so wird dem mit den Principien der Mechanik und den optischen Polarisationserscheinungen Vertrauten manche Erörterung gar zu breit erscheinen, doch dürfte es immerhin erspriesslicher sein, in Rücksicht auf die ungleiche Vor- und Durchbildung, welche die Mehrzahl der Botaniker[1]) in den sogenannten exacten Wissenschaften bekanntlich besitzen, an manchen Punkten eine gewisse „epische Breite“ walten zu lassen, als die sonst gewiss vorzuziehende mathematische Kürze in Anwendung zu bringen.

Damit sei denn die Arbeit dem Wohlwollen empfohlen.

Einleitung.

Es ist eine bekannte Thatsache, dass mit der Syngenese gleichwerthiger Organe, namentlich in den Perianthkreisen, sowie auch bei synkarpen Fruchtblättern, häufig Erscheinungen auftreten, welche wohl von Morphologen und Systematikern gekannt und gewürdigt, welche aber meines Wissens bisher weder vom anatomischen noch vom physiologischen Gesichtspunkte aus beleuchtet worden sind. Ich meine die als Commissuralgebilde bezeichneten Formationen und erinnere nur an die sogenannten Commissuralrippen vieler gamosepalen Kelche, namentlich der Silenaceen, und an die Commissuralnerven vieler gamopetalen Blumenkronen. Bisher hat man die Existenz solcher Gebilde schlechthin constatirt, Zweck und Ursache ihres Daseins aber nicht in Erwägung gezogen. Man hat sich damit begnügt, in der Commissur einfach die Verwachsungslinie der gleichwerthigen benachbarten Organe, der Kelchblätter, der Kronblätter oder der Carpiden zu sehen, welche Linie sich eben durch ihre be-

1) Und an solche soll sich die Arbeit ja lediglich wenden.

sondere Ausgestaltung schlechthin manifestirt, obwohl noch hervorgehoben werden muss, dass hier von einer Verwachsungslinie eigentlich nur im phylogenetischen, nicht im ontogenetischen Sinne gesprochen werden darf. Wir wissen ja aus den entsprechenden entwickelungsgeschichtlichen Beobachtungen, dass die Verwachsung zumeist, wenn nicht überhaupt immer, „congenital“ erfolgt. Mir scheint es nun völlig zweifellos, dass man in der Mehrzahl der Fälle local-mechanische Einrichtungen erkennen kann, welche zum mindesten mit dem Princip der Zweckmässigkeit harmoniren, theilweise vielleicht auch der causalen Erklärung fähig sind. Einen sehr lehrreichen Fall dieser Art liefert die vergleichende Betrachtung des anatomischen Baues der Commissuren der Equisetenblattscheiden, dessen Erörterung den Gegenstand dieser Arbeit bilden soll. Zum weiteren Verständniss empfiehlt es sich jedoch, einige orientirende Thatsachen zusammenzustellen.

I. Zur Biologie und Morphologie der Stammspitzen der Equiseten.

Die Blattscheiden der Equiseten entwickeln sich nach der übereinstimmenden Angabe der Autoren aus einem simultan in die Erscheinung tretenden, geschlossenen, wallartigen Geweberinge an der von der Scheitelzelle und ihren Segmenten sich herleitenden, erstarkenden Sprossspitze. An dem Ringwalle erheben sich die einzelnen Scheidenzähne erst nachträglich, indem gewisse Zellen der Scheitelkante des Walles als Scheitelzellen (Initialen) für die Zahnbildung fungiren. Die Feststellung dieser Thatsache verdanken wir Hofmeister (Vergleichende Untersuchungen, 1851, p. 89 ff., Allgem. Morphologie der Gew., 1868, p. 549), dem sich Duval-Jouve (Hist. nat. des Equisetum de France, 1864, p. 57) und Reess (Pringsheim's Jahrb. VI, 1866/67, p. 224 ff.) anschlossen[1]). Die Verlängerung des geschlossenen Scheidentheiles geschieht durch Zellstreckung und intercalare Zelltheilungen, vornehmlich aber durch die intensive Thätigkeit der Zellen der Scheidenbasis[2]), deren Wachs-

1) Vergl. auch Sachs, Lehrb. 2. Aufl., 1870, p. 352, 353; Strasburger, Bot. Practicum, 1. Aufl., 1884, p. 259.

2) Reess, l. c. p. 225, Anm.

thum noch lange anhält, wenn bereits die Scheidenspitzen ihr Wachsthum eingestellt haben oder gar abgestorben sind (so besonders bei Equisetum hiemale). Die Scheidenspitzen berühren sich nämlich bald oberhalb der Scheitelzelle, über welche sie von unten her hinweggeschoben werden, so dass die zusammenneigenden Zähne der Scheiden die Scheitelzelle und die noch nicht zur Scheidenbildung geschrittenen Segmente, d. h. den Stammscheitel von oben her wie ein im gothischen Style ausgeführtes Kuppelgewölbe schützen, welches von der Scheitelzelle in keinem Punkte berührt wird. Die letztere liegt vielmehr mit ihrer dreiseitigen, sphärischen Aussenwand frei im Scheidengewölbe, dessen Rippen die carinalen Gewebepartien bilden, welche jeden Scheidenzahn in seiner Mediane durchziehen, um an der Basis der Scheide in die Riefe des nächstunteren Internodiums überzugehen (vergl. Taf. XVI, Fig. 1 und 2).

Somit werden die Equisetumscheiden von vornherein zu Schutzorganen des Vegetationskegels und seiner Scheitelzelle gestempelt, sie entsprechen morphologisch und biologisch den schützenden Knospendecken des Vegetationskegels der Dicotylen. Nach der biologischen Seite trifft zwar dieser Vergleich insofern nicht ganz zu, als die Equisetenstammspitzen (wenigstens in der Mehrzahl) in der Hauptperiode ihrer Entwickelung, die Rhizomsprosse sogar dauernd unterirdisch fortwachsen, während welcher Zeit sie beständig im mehr oder minder festen Erdreich auf Hindernisse stossen. Ich beobachtete beim Ausgraben von Rhizomstücken des Equisetum hiemale im Garten unseres Institutes mehrfach, dass die scharfen, von den zusammenneigenden Scheidenzähnen gebildeten Sprossspitzen junger Triebe kräftige Rhizomäste derselben Art oder Wurzeln anderer Pflanzen, welche sich dem fortwachsenden Sprosse in den Weg gestellt hatten, einfach durchbohrten, woraus dann eine Duchwachsung dieser Organe resultirte [1]). Nach der biologischen Seite hin urtheilend wird man daher die Gipfel der Equisetensprosse, so lange sie unterirdisch fortwachsen, vielleicht noch treffender mit den Rhizomenden vieler Monocotylen vergleichen können, namentlich mit solchen, deren Internodien eine mehr oder minder beträchtliche Längsstreckung

1) Solche Durchwachsungen sind wiederholt von den scharfen Spitzen der Rhizome von Triticum repens beobachtet worden.

durchmachen, wie die Rhizome und Stolonen vieler Carices, vieler Gräser, der Sagittaria u. a. Hier wird zwar der Schutz der Stammspitze in etwas anderer Weise erreicht. Es wölbt sich hier nämlich die Spitze des die Stammknospe umhüllenden, zeitweilig äussersten Niederblattes ein wenig kapuzenförmig über die jüngeren Schuppen hinweg. Der Effect ist aber hier wie dort derselbe. Es entsteht auch bei den Monocotylenstolonen eine mehr oder minder langgestreckte Gewölbekuppel, in deren Hohlraum der Scheitel frei hineinragt, ohne die innerste der ihn völlig überdeckenden Schuppen zu berühren. Es ist dies eine ausserordentlich zweckentsprechende Construction zu nennen, denn sobald die Streckung der Internodien unterhalb des zeitweilig äussersten Niederblattes der Stammknospe diese vorwärts treibt, erfährt zunächst die Spitze dieses Niederblattes den Widerstand des vor der Stammspitze liegenden Mittels, einen Widerstand, welcher für die eingehüllte Knospe, speciell für den frei in die Gewölbekuppel hineinragenden Scheitel gar nicht zur Geltung kommen kann. Der Widerstand des Mittels wird also nur von den älteren Internodien aufgenommen und eventuell auch überwunden. Ganz analog verhält sich die unterirdische Sprossspitze der Equiseten.

Der Längsschnitt durch die Equisetenknospe (des Rhizomes wie des aufstrebenden Stammes) zeigt uns eine wechselnde Anzahl von Scheiden (etwa 10—15), welche die Kuppel über der Scheitelregion aufbauen. Die Spitzen der Scheiden, zumal der äusseren (älteren), sind so ineinander gekeilt, dass sie in unmittelbarem Contact mit einander stehen. Wächst nun das Internodium zwischen der zeitweilig äussersten Scheide und der nächst inneren in die Länge, so schiebt sich die Spitze der letzteren zunächst aus der ersteren heraus, die innere Scheide gleitet auf der Innenseite der sie deckenden äusseren Scheide entlang. Daher ist denn auch nothwendig auf dem Querschnitte die Innencontour der äusseren Scheide congruent der Aussencontour der nächst inneren Scheide. Mit dem Hervortreten der Knospe aus der vorhin noch äussersten Scheide geht aber mit dieser nothwendig eine Formveränderung vor. Die von ihr gebildete Kuppel wird an ihrem Scheitelpunkte durchbrochen, die sich vorher nach dem Modus der klappigen Knospenlage mit ihren Rändern berührenden, eine geschlossene Fläche bildenden Zähne treten ein wenig, dann weiter und weiter auseinander, die von ihnen gebildete

Kuppel verschwindet mehr und mehr, bis die Stammknospe ganz herausgeschoben ist. Dann ist die vorhin äusserste Scheide ihrer Hauptfunction enthoben, ihr geschlossener Basaltheil und die ihm aufgesetzten Zähne bilden jetzt einen Cylinder, welcher die Basis des supravaginalen Internodiums zunächst eng anliegend umhüllt. Dieses Internodium wächst aber während seiner Längsstreckung auf die Dicke des ihm vorherhehenden infravaginalen Internodiums an, es drückt also während seiner ganzen Entwickelungsperiode ununterbrochen von innen heraus gegen die geschlossene, es einengende Scheide. Dieser Druck wird sogar noch bei der mit dem Alter des Stammes bis zu einem gewissen, der Art eigenthümlichen Maximum sich steigernden Umfangszunahme dauernd erhalten bleiben, bis das Rhizomstück zu altern anfängt und die retrograde Lebensphase anhebt. Dieselbe Reihe der Erscheinungen wiederholt sich natürlich bei der nächst jüngeren Scheide, welche jedesmal die Function der vorhergehenden gleichsam von dieser ererbt.

Zwischen den Rhizomspitzen und den die oberirdischen Triebe liefernden Sprossen der Equiseten ist übrigens ein gewisser augenfälliger Unterschied stets bemerkbar. Die horizontal fortwachsenden Rhizome sind fast durchgängig cylindrisch, oder ihre jüngsten Internodien sind minimal nach der Triebspitze hin verjüngt, über welche sich die sie einhüllenden Scheiden als sehr schlank zugespitzte Kuppel hinwegwölben (Taf. XVI, Fig. 3 und 4). Diese Form der Rhizomspitze ist bei der beträchtlichen Streckung der Rhizominternodien eine gewiss vortheilhafte zu nennen; es wäre jedenfalls weniger vortheilhaft, wenn die Triebspitze nach vorn zu dicker würde. So wie wir sie thatsächlich vorfinden, lässt sie sich mit einer starken Tapeziernadel vergleichen, welche von hinten her durch den widerstrebenden Erdboden hindurchgetrieben wird, wobei sich die abgenutzte Spitze von Zeit zu Zeit durch eine neue ersetzt. Etwas anders verhalten sich die Anlagen der aufstrebenden Triebe. Diese Triebe sind zunächst mehr oder minder zwiebelförmig[1]), ihre Internodien bleiben lange gestaucht oder strecken sich zunächst nur sehr wenig. Dafür werden die neugebildeten Internodien aber viel um-

1) Die Bildung unterirdischer Knollen ist von Equisetum arvense und einigen anderen Arten längst bekannt.

fangreicher als die älteren, so dass die ganze Sprossanlage und mit ihr der junge Schaft eine deutlich verkehrt kegelförmige Gestalt erhält (Taf. XVI, Fig. 9 und 10), auf welche sich eine viel weniger schlanke Scheidenkuppel aufsetzt, welche natürlich auch viel weniger geeignet ist, den Widerstand des umgebenden Mittels zu überwinden, einem dauernd unterirdischen Fortwachsen also nicht angepasst erscheint. Wie sich diese Correlation zwischen wachsendem Widerstand des Mittels (Erdreiches) und der Stauchung bei wachsendem Umfang der aufeinanderfolgenden Internodien erklären lässt, möchte ich vor der Hand unerörtert lassen und das Augenmerk nur wieder auf die Blattscheiden lenken.

Diese werden bei dem zwiebelähnlichen Sprossende von innen her viel stärker auf die jeweilig äusseren, namentlich auf die äusserste Scheide, welche ihr Wachsthum bereits eingestellt hat, drücken, als im vorbesprochenen Falle. Jede Scheide muss, obwohl sie ursprünglich von ihrer Insertionsstelle aus scheitelwärts continuirlich verengt erschien[1]), beim Durchtritt der Stammknospe sich so erweitern, dass sie nicht nur cylindrich wird, sondern sie muss sich wegen der langsamen Internodialstreckung und der fortdauernden Neubildung von jungen Scheiden am Scheitelmeristem zu einem scheitelwärts sich öffnenden Trichter umgestalten. Dieser erhält seine maximale Weite in den Fällen, wo die Stammknospe die Anlage eines fertilen Sprosses eingeschachtelt enthält. Ist eine solche nach oben hin umfangreicher werdende Knospe erst dem Widerstande des umgebenden Erdreiches entrückt, steht also der Internodienstreckung kein Hinderniss mehr entgegen, so schiesst auch der Schaft oft in wenigen Tagen in die Höhe, und die Scheiden sind an ihm als functionslose Anhängsel, als weit abstehende Manschetten zu finden, welche dem Basaltheile des supravaginalen Internodiums weder Schutz noch Stütze gewähren. So verhalten sich vornehmlich die Scheiden der bald welkenden fertilen Sprosse der von A. Braun als Heterophyadica bezeichneten Gruppe der Equiseten, als deren Repräsentanten ich hier nur Equisetum arvense anführen will.

1) Verengt — eigentlich basalwärts erweitert. Die Scheitelkante entstand bei geringerem Durchmesser des Scheitelmeristemes als die basalwärts intercalar sich anfügenden Scheidenpartien. Diese halten ja mit der Umfangzunahme des Axenorganes gleichen Schritt.

In vielen Fällen wechselt nun aber die Function der Equisetenscheiden. Wächst die Stammkospe von einem gewissen Stadium an nicht mehr in die Dicke, werden somit die jüngeren Internodien nicht stärker als die älteren, so werden die Scheiden nicht weiter gedehnt, als bis sie die Cylinderform angenommen haben (Taf. XVI, Fig. 7 und 8). Sie liegen dann der Basis des supravaginalen Internodiums eng an. Hier ist aber gerade der Ort des dauernden intercalaren Zuwachses des Stammgliedes, hier ist dasselbe weich und biegsam und bedarf eines sicheren Haltes und des Schutzes gegen von aussen kommende Eingriffe. Für unterirdische Sprossabschnitte kommt nur die zuletzt erwähnte Schutzbedürftigkeit in Rechnung, den stützenden Halt liefert in ausreichendem Maasse das umgebende Erdreich. Die dem Equisetumschafte anliegende Scheide spielt also dieselbe Rolle wie die Scheide des Grasblattes und wie die rückwärtsgeschlagene Involucralscheide am oberen Ende des Blüthenschaftes von Armeria vulgaris. So verhalten sich die Scheiden von Equisetum hiemale (Taf. XVI, Fig. 5 und 6), auch die von Equisetum limosum (Taf. XVI, Fig. 7 und 8). Jedenfalls ist die Function eines Schutzorganes unzertrennlich von dem Begriff der Equisetumblattscheide. Sie hat aber in erster Linie und ausnahmslos bei allen Arten den Zweck, die Stammknospe zu schützen. Dieser wichtigsten Aufgabe gegenüber tritt die Function der Scheide am ausgewachsenen Internodium zurück, bei den Heterophyadica zum Theil bis zum Verschwinden. Die sonst in erster Linie den Blättern der Pflanzen zufallende Function der Assimilationsthätigkeit ist bei den Equisetenscheiden auf ein Minimum herabgesetzt.

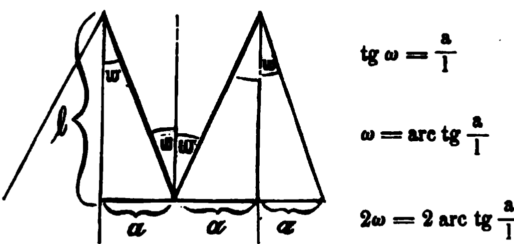
Es darf nun als eine wohlberechtigte Frage angesehen werden: Wie werden die Equisetumblattscheiden mit ihrem anatomischen Baue den an sie gestellten Anforderungen gerecht? Ich will in dieser Mittheilung diese Frage nicht in ihrem vollen Umfange behandeln, sondern mich vielmehr auf die eingehende Erörterung nur eines Punktes beschränken, eben desjenigen, welcher die Commissuren betrifft. Zum Verständniss des Folgenden wird es aber von Vortheil sein, wenn ich an die obige Schilderung anknüpfend das Verhalten der einzelnen Scheide specieller beleuchte.

Tritt, wie oben geschildert, die Equisetenstammknospe aus ihrer äussersten Blattscheide heraus, so werden, wie früher erörtert, die

Scheidenzähne zunächst an ihrer Spitze auseinandergedrängt, während der Spalt zwischen je zwei Zähnen nach dem geschlossenen Scheidentheile zu sich spitzwinklig auskeilt. Je weiter die Knospe hervorgeschoben wird, um so grösser wird dieser Oeffnungswinkel (Spaltwinkel) zwischen zwei benachbarten Scheidenzähnen. Läge nun die Basis der Scheidenzähne gerade auf dem weitesten Umfange der Stammknospe, gleichsam auf dem Aequator (bezüglich der als Pol gedachten Spitze) der Knospe, dann würde diese ungehindert hervortreten können, die Scheidenzähne würden parallel der Längsachse nach vorn stehen, der Winkel zwischen den Zähnen liesse sich leicht aus der Länge der Zähne und ihrem horizontalen Insertionsabstande berechnen[1]). Es genügt aber ein Blick auf die unten stehende Skizze zweier Zähne, um zu erkennen, dass der Winkel zwischen zwei benachbarten Zähnen (der Spaltwinkel 2ω) gleich ist dem Winkel, welchen die Grenzlinien eines der Scheidenzähne einschliessen[2]), sofern angenommen wird, dass alle Zähne einander congruent sind und die sehr geringe Oberflächenkrümmung zwischen je zwei Zähnen vernachlässigt werden darf.

In Wirklichkeit liegt nun die Basis der Zähne nie auf dem weitesten Umfange der Stammknospe. Es wurde schon oben darauf hingewiesen, dass die Basis der Scheidenzähne einen geringeren Umfang zeigt, als die Insertionslinie der Scheide auf dem Axengliede. Tritt also das Vorschieben der Knospe aus der äussersten

1) Es sei die Länge jedes Zahnes l, seine Grundlinie 2a, der Spaltwinkel 2ω, dann ist aus der Skizze ohne Weiteres ersichtlich, dass bei den gemachten Voraussetzungen



$$\operatorname{tg}\omega = \frac{a}{l}$$

$$\omega = \operatorname{arc\,tg}\frac{a}{l}$$

$$2\omega = 2\operatorname{arc\,tg}\frac{a}{l}$$

Dieser Werth des Spaltwinkels ist zu gross, weil der Radius des Internodiums gleich ∞ angenommen ist. Die genauere Berechnung des Spaltwinkels soll im nächsten Abschnitte gegeben werden.

2) In Wirklichkeit sind die Grenzlinien der ausgewachsenen Zähne der Equisetenscheiden keine Geraden. Näheres darüber folgt in einem der späteren Abschnitte.

Scheide ein, so muss diese zum Theil gesprengt werden, und dieses Sprengen der Scheide muss nothwendigerweise gerade in den Scheiteln der Spaltwinkel (zwischen je zwei Zähnen) eintreten, denn hier ist, wie der Querschnitt durch die jungen und jüngsten Scheiden lehrt, von vorn herein die schwächste Stelle der Scheide zu finden. Die Scheide ist hier ursprünglich nur eine einzige Zellschicht dick, welche die Kante des geschlossenen Scheidentheils darstellt, während nach rechts und links das Gewebe zwei-, drei-, vier- bis vielschichtig wird, um die carinale, den Rücken des Zahnes bildende Gewebeschicht aufzubauen, in welcher auch der einzige, den Zahn in seiner ganzen Länge durchziehende Bündelstrang zur Entwickelung gelangt (vergl. hierzu Taf. XX, Fig. 1).

Das Einreissen der Commissur, welche abwärts verfolgt zwar auch zwei-, drei und mehrschichtig wird, müsste nun theoretisch so weit fortschreiten, bis die Verbindungslinie der Scheitel der Spaltwinkel (nach dem Einreissen gemessen) in ihrer Länge gleich dem grösstem Umfange der sich aus der Scheide hervorschiebenden Knospe ist. Bei relativ schnell sich streckenden, acropetal nicht an Dicke zunehmenden Internodien würde dieser Umfang (im Minimum) dem Umfang des fertigen supravaginalen Internodiums gleichkommen; wir erhalten dann die eng anschliessende Scheide, wie sie etwa Equisetum hiemale und limosum zeigen. Tritt aber das zwiebelartige Anschwellen der Stammknospe ein, so reicht das Einreissen in dem besprochenen Maasse nicht aus. Die cylindrische Scheide muss sich scheitelwärts trichterförmig ausweiten, es muss also der Riss zwischen den Zähnen in der Commissur noch viel tiefer gehen. Dazu kommt nun noch für die unterirdische Entwickelungsphase eine Complication. Es werden nämlich hier die äussersten Spitzen der äussersten Scheide durch die jüngeren, vorwärtsdrängenden Scheidenkuppen fest gegen die Erdmassen gepresst, welche vor den Scheiden her weichen sollen. Die Zahnspitzen der äussersten Scheide werden also wie in einen Schraubstock festgeklemmt. In gewissem Sinne findet dieses Festklemmen auch bei den nicht im Erdboden wachsenden Stammknospen statt; hier werden die mittleren Scheidenzähne von den jüngeren, innersten gegen die äussersten gepresst. Es sterben denn auch allgemein die äussersten Zahnenden ab und nehmen eine gelbbraune, dann dunkelbraune bis schwarze

Färbung an. Eine Folge des Festklemmens der Zahnspitzen ist nun zunächst ein reusenartiges Aufspringen der äussersten Scheide. Dieser Zustand kann aber nicht lange erhalten bleiben; er endet entweder damit, dass die Zahnspitzen gänzlich untergehen, oder damit, dass dieselben abreissen. Bei Equisetum hiemale reissen die Scheidenkuppeln oft in einer rings um die Knospe herumlaufenden Linie ab, weshalb die fertige Scheide völlig zahnlos erscheint. Die abgerissenen, tutenförmigen Spitzen findet man bei dieser Species häufig ineinander geschachtelt dem Sprossende wie eine (mehrfache) Laubmooscalyptra aufsitzend; noch treffender kann man sie mit den Schichten einer Wurzelhaube vergleichen, deren Function sie manchmal geradezu übernehmen (Taf. XVI, Fig. 5 und 6).

Soweit die morphologisch-biologische Skizze.

II. Die Bestimmung des Spaltwinkels wirtelig gestellter Blätter und Zähne.

Die Bestimmung des zwischen je zwei benachbarten Zähnen der Equisetumscheiden liegenden Spaltwinkels ist für die zu erörternden Fragen bezüglich des Baues der Commissuren zwar nicht nöthig, doch mag sie hier eingeschaltet werden, weil sie oben berührt wurde, besonders aber, weil sie allgemein auf wirtelig gestellte flächenförmige, mit breiter Basis inserirte Organe Anwendung finden kann.

Die zu lösende geometrische Aufgabe würde lauten: Es seien n congruente Zähne oder Lappen von der Gestalt gleichschenkliger Dreiecke mit ihrer Basis den Seiten eines regulären n-Ecks aufgesetzt. Wie lässt sich der zwischen je zwei Zähnen liegende Winkel (2ω) bestimmen, wenn gegeben ist:

1. der Radius des dem n-Eck umschriebenen Kreises (r),
2. die mediane Zahnlänge (l),
3. der Neigungswinkel, welchen die Ebene des n-Ecks und die durch die Basis und die Spitze des Zahnes bestimmte Ebene mit einander bilden (α).

Zur Bestimmung von ω und zur Feststellung der zu verwendenden Bezeichnungen genügen folgende Darstellungen: 1. Die Skizze

des regulären n-Ecks, welches die Basen der n-Zähne bilden. 2. Die Skizze zweier in die Ebene des Papiers ausgebreiteten Zähne. 3. Das Bild eines Längsschnittes, dessen Ebene bestimmt ist durch das im Mittelpunkte des n-Ecks auf dessen Ebene errichtete Loth und den Halbirungspunkt der Basis eines Zahnes. Diese Ebene enthält die mediane Zahnlänge.

Aus der Betrachtung des Bestimmungsdreieckes des n-Ecks geht ohne Weiteres hervor: der Winkel an der Spitze des Bestimmungsdreieckes ist:

$$2\varphi = \frac{4}{n}R = \frac{2\pi}{n},$$

der halbe also

$$(1)\quad \varphi = \frac{2}{n}R = \frac{\pi}{n}.$$

Die gleichen Seiten des Dreiecks sind jede gleich r; die halbe Basis ist:

$$(2)\quad a = r\sin\frac{\pi}{n}.$$

Die Höhe des Bestimmungsdreiecks ist:

$$(3)\quad b = r\cos\frac{\pi}{n}.$$

Die Flächenansicht der Zähne lässt unmittelbar die Relationen erkennen:

Die Seitenlänge der Zähne ist:

$$s = \sqrt{l^2 + a^2} \quad \text{oder}$$

$$(4)\quad s = \sqrt{l^2 + r^2\sin^2\frac{\pi}{n}};$$

der halbe Winkel an der Zahnspitze (ψ) ist gegeben durch die Beziehung:

$$\operatorname{tg}\psi = \frac{a}{l} \quad \text{mithin ist}$$

$$(5)\quad \psi = \operatorname{arc\,tg}\frac{r\sin\frac{\pi}{n}}{l}.$$

Der oben definirte Längsschnitt durch die Zahnmediane zeigt den Neigungswinkel α und giebt die Relationen:

Die Höhe der Zahnspitze über der Ebene des n-Ecks ist:

$$(6)\quad h = l \sin \alpha;$$

die Projection der Zahnlänge auf die Ebene des n-Ecks (auf b fallend) ist:

$$(7)\quad p = l \cos \alpha.$$

Die Entfernung e der Fusspunkte der Höhen h zweier benachbarten Zähne, d. h. die Entfernung der auf die Ebene des n-Ecks projicirten Zahnspitzen bestimmt man wie die Grösse a aus der Skizze des n-Ecks. Es ist die halbe Entfernung

$$(8)\quad \frac{e}{2} = (b - p) \sin \frac{\pi}{n} \quad \text{also}$$

$$(9)\quad e = 2(b - p) \sin \frac{\pi}{n}.$$

Diese Grösse ist zugleich der Abstand zweier benachbarten Zahnspitzen. Die denselben darstellende Gerade und die den Winkel 2ω einschliessenden Seitenlängen s bilden ein gleichschenkliges Dreieck, in welchem 2ω der Winkel an der Spitze ist. Aus diesem Dreieck ist ersichtlich, dass

$$\frac{\frac{1}{2} e}{s} = \sin \omega$$

$$\omega = \arc \sin \frac{e}{2s}.$$

Um statt e und s die gegebenen Grössen n, r, l und α einzuführen, setze man die in (9) und (4) gefundenen Werthe ein, so folgt:

$$\omega = \arc \sin \frac{(b - p) \sin \frac{\pi}{n}}{\sqrt{l^2 + r^2 \sin^2 \frac{\pi}{n}}}.$$

Hierin ersetze man b und p nach (3) und (7), so erhält man:

$$(10)\quad \omega = \arc \sin \frac{\left(r \cos \frac{\pi}{n} - l \cos \alpha\right) \sin \frac{\pi}{n}}{\sqrt{l^2 + r^2 \sin^2 \frac{\pi}{n}}}.$$

Damit ist die gestellte Aufgabe gelöst. Die Discussion von (10) ergiebt nun:

Der Spaltwinkel 2ω verschwindet, wenn die Differenz im Zähler des Argumentes zu Null wird, d. h. wenn

$$r \cos \frac{\pi}{n} = l \cos \alpha \quad \text{oder}$$

$$(11) \quad \alpha = \arc \cos \frac{r \cos \frac{\pi}{n}}{l}.$$

Diese Gleichung liefert den Minimalwerth des Neigungswinkels der Zähne. Ist diese Zahnstellung realisirt, dann bilden die Zahnflächen eine reguläre n-seitige Pyramide, deren Grundfläche das reguläre n-Eck ist. Die Pyramidenkanten sind gleich s, die Pyramidenhöhe ist aus (6) und (11) oder aus l und b berechnet gleich

$$\sqrt{l^2 - r^2 \cos^2 \frac{\pi}{n}}.$$

Nimmt α von seinem Minimalwerthe anfangend continuirlich zu, so wächst nach (10) ω continuirlich. Ist $\alpha = R \left(\text{also} = \frac{\pi}{2}\right)$, d. h. stehen die Zähne senkrecht auf der Ebene des n-Ecks, so ist nach (10):

$$\omega = \arc \sin \frac{r \cos \frac{\pi}{n} \sin \frac{\pi}{n}}{\sqrt{l^2 + r^2 \sin^2 \frac{\pi}{n}}} \quad \text{oder}$$

$$(12) \quad \omega = \arc \sin \frac{r \sin \frac{2\pi}{n}}{2\sqrt{l^2 + r^2 \sin^2 \frac{\pi}{n}}}.$$

Diese Gleichung liefert den Werth des Spaltwinkels für den Fall der cylindrischen (genauer: prismatischen) eng anliegenden Scheiden, für welche auf S. 505 in der Anmerkung die Näherungsrechnung gegeben wurde.

Wächst α über einen Rechten hinaus, spreizen also die Zähne trichterförmig auseinander, so wächst ω über den in (12) gegebenen Werth hinaus, bis $\alpha = 2R$ geworden ist; dann hat nach (10) der Spaltwinkel 2ω seinen Maximalwerth erreicht. Es ist dann nämlich:

$$(13) \quad \omega = \arc \sin \frac{\left(r \cos \frac{\pi}{n} + l\right) \sin \frac{\pi}{n}}{\sqrt{l^2 + r^2 \sin^2 \frac{\pi}{n}}}.$$

Dieses Resultat kann nicht überraschen, es sagt ja nur aus, dass die Zähne am meisten gespreizt sind, wenn sie senkrecht zur Längsaxe des sie tragenden Organes (des Internodiums, der basalen Scheide etc.) stehen, oder anders ausgedrückt, wenn sie in die Ebene des n-Ecks ausgebreitet sind.

Statt der Gleichung (10) kann auch die Gleichung (9) zur Discussion gewählt werden. Ersetzt man in dieser p und eventuell auch b durch die in (7) und (3) gegebenen Werthe, so wird aus (9):

$$(14) \quad e = 2\left(b - l \cos \alpha\right) \sin \frac{\pi}{n} \quad \text{oder}$$

$$(14a) \quad e = 2\left(r \cos \frac{\pi}{n} - l \cos \alpha\right) \sin \frac{\pi}{n} \quad \text{und}$$

$$(14b) \quad e = r \sin \frac{2\pi}{n} - 2 l \cos \alpha \sin \frac{\pi}{n}.$$

Die Gleichung (14) sagt aus: Die Entfernung zweier benachbarten Zahnspitzen ist 0, d. h. die Zähne bilden eine n-seitige Pyramide, wenn

$$b - l \cos \alpha = 0 \quad \text{oder}$$

$$\cos \alpha = \frac{r \cos \frac{\pi}{n}}{l} \quad \text{mithin}$$

$$\alpha = \text{arc} \cos \frac{r \cos \frac{\pi}{n}}{l},$$

eine Relation, welche schon in (11) entwickelt worden ist.

Wächst α über diesen Minimalwerth, so wächst e, d. h. die Zähne treten auseinander, bis $\alpha = 2\,R$ (d. h. $= \pi$) geworden ist. Ueber diesen Werth hinaus nimmt e wieder ab.

Ist $\alpha = R = \frac{\pi}{2}$, dann wird aus (14b)

$$(15) \quad e = r \sin \frac{2\pi}{n} \quad [1]).$$

1) Diese Gleichung lässt sich auch schreiben:

$$e = 2 r \sin \frac{\pi}{n} \cos \frac{\pi}{n}$$

Nun ist nach (2) $a = 2 r \sin \frac{\pi}{n}$, also

Dies ist die Entfernung der Spitzen zweier benachbarten, der Längsaxe des Organes parallel gerichteten Zähne, eine Grösse, welche nur vom Radius r und der Zahl der Zähne n, nicht aber von der Zahnlänge l abhängig ist.

Ist $\alpha = 2R = \pi$, dann ergiebt (14b) den Maximalwerth

$$(16) \quad e = r \sin \frac{2\pi}{n} + l \sin \frac{\pi}{n}.$$

Es wird nicht nothwendig sein, die Grössenänderung des Minimalwerthes von α und der damit zusammenhängenden Höhe h der geschlossenen Zahnpyramide, sowie die Aenderung der Zahnspitzenabstände und des Spaltwinkels in Abhängigkeit von den Grössen r, l und n eingehend zu erörtern. Aus den Gleichungen (6), (10), (11) und (14) lässt sich mit grosser Leichtigkeit ersehen, dass

bei wachsendem Radius r

1. die Zahnbasis 2a wächst,
2. der Minimalwerth von α und damit die Pyramidenhöhe h abnimmt,
3. für gleiche Neigungswinkel (α) der Zähne die Entfernung je zweier Zahnspitzen (e) und damit auch der Spaltwinkel (2ω) wächst;

dass ferner

bei wachsender Zahnlänge l

1. der Minimalwerth von α und damit die Pyramidenhöhe h wächst,
2. bei gleicher Neigung der Zähne die Entfernung je zweier Zahnspitzen (e) und damit auch der Spaltwinkel (2ω) abnimmt.

Die vorstehenden Berechnungen sind geeignet, einen Theil der im ersten Abschnitte gegebenen Erörterungen mathematisch zu

---

$$e = 2a \cos \frac{\pi}{n}$$

Ist $\frac{\pi}{n}$ ein sehr kleiner Winkel, d. h. ist n sehr gross, also eine beträchtliche Anzahl von Zähnen vorhanden, dann ist die Entfernung zweier Zahnspitzen nahezu so gross wie die Basis eines Zahnes (2a).

verificiren. Ich unterlasse es, die betreffenden Punkte aufzuzählen, um Wiederholung zu vermeiden; nur wenige Bemerkungen mögen hier noch Platz finden.

Es ist bei den Berechnungen auf die Flächenkrümmungen nicht Rücksicht genommen worden. Es rechtfertigt sich dies durch die Erwägung, dass beim Vorhandensein einer grösseren Zahl von inserirten Fächengebilden (Zähnen, Lappen etc.) die Krümmung des einzelnen Gebildes verschwindend klein ist, zumal die Insertion zumeist in einer mehr oder minder grossen Fläche, nicht in einer Linie erfolgt. Wo aber nur wenige Gebilde einen Wirtel aufbauen, da ist die Insertionslinie in der Regel wirklich ein n-Eck oder doch wenigstens auch keine Kreislinie. Auch die Form des einzelnen Zahnes ist willkürlich als die eines gleichschenkligen Dreieckes angenommen worden, obwohl die seitliche Begrenzungslinie der den Zähnen analogen Gebilde in der Natur bald concav innerhalb, bald convex ausserhalb der von uns supponirten Zahnseite s verläuft. In allen Fällen aber wird man den gleichschenkligen, ebenen Zahn dem in der Wirklichkeit vorliegenden supponiren können, wodurch der geometrischen Betrachtung eine sichere Grundlage und Allgemeingültigkeit geschaffen ist.

Nach dieser Abschweifung kehre ich zur Betrachtung der Equisetenscheiden zurück.

III. Die Scheidencommissuren der Equiseten in der Flächenansicht.

Es wurde im ersten Abschnitte darauf hingewiesen, dass die Scheiden der Equiseten beim Durchtritt durch die Stammknospe stets gesprengt werden müssen, und dass das Einreissen ausnahmslos in den Commissuren zwischen je zwei Scheidenzähnen stattfindet. Das Einreissen der Commissuren birgt nun natürlich Gefahren in sich. Es ist deshalb dafür gesorgt, dass dem Reissen zur rechten Zeit und an der rechten Stelle Einhalt geboten wird.

Betrachtet man nämlich eine Scheide von ihrer Aussenseite, am besten bei geringer Vergrösserung (etwa mit Seibert's Obj. I oder III), so findet man rechts und links von der Commissurmediane von

dem Scheitel des Spaltwinkels bis zur Spitze der ihn einschliessenden Zähne hin einen häutigen Saum, welcher gegen das carinale und lebende Gewebe des Zahnes gewöhnlich durch dunkelgebräunte abgestorbene Zellen abgegrenzt ist (Taf. XVIII, Fig. 1). Die einander zugewandten häutigen Säume waren ursprünglich wenigstens im unteren Theile vereint, sie trennten sich eben durch das Einreissen der Commissur. Verfolgt man aber die Risslinie abwärts nach dem Scheidengrunde hin, so findet man in ihrer Verlängerung plötzlich starkwandige Zellen auftreten, welche sich wie Querbalken vor den Riss legen. Sie liegen mit ihren langen Seiten aneinander und in einer weithin abwärts verfolgbaren Reihe hintereinander, wie ein Mauerwerk, doch so, dass die dem Risse zunächst liegenden Zellen die längsten, die folgenden successive kürzer sind, bis nach unten hin die Reihe sich auskeilt, undeutlich wird und sich völlig verliert. Vergleichend-anatomisch gesprochen haben wir es hier mit besonders gestalteten Epidermiszellen der Aussenfläche der Equisetenscheide zu thun. Ich will diese Zellen fernerhin als „Ankerzellen“ bezeichnen, weil sie je zwei benachbarte Scheidentheile (Blätter) mit einander verankern [1]). Weitere Gründe für diese

---

1) Verankern ist in der praktischen Ingenieurmechanik kein scharf definirter Begriff. Die Ingenieure unterscheiden bei stabilen Constructionen Streben uud Anker. Die ersteren sind auf Druckwirkungen, die letzteren auf Zugwirkungen berechnete Constructionstheile. Verbindet man beispielsweise zwei in gleicher Höhe liegende Punkte zweier Dachsparren durch eine horizontale Eisenstange, so bildet diese die Verankerung; sie wird schlechtweg als Anker bezeichnet. Es coincidirt diese Bezeichnung mit der ursprünglichen Bedeutung des Schiffsankers insofern, als das Ankertau zwischen dem im Boden sich festhakenden Anker und der auf dem Schiffe befindlichen Ankerrolle ebenfalls gespannt ist, es nimmt den Zug des zum Forttreiben neigenden Schiffes auf. Ist die Verankerung durch eine Kette geschehen, so spricht man von Verkettung. Ist ein Anker sehr kurz und mit einer Aushebevorrichtung versehen, so wird daraus die Verkoppelung, wie sie etwa zwischen je zwei Eisenbahnwagen gebräuchlich ist. Bei ganz inniger, nicht auf Auslösung berechneter Verkoppelung spricht man mit Rücksicht auf die besondere Form des „Ankers“ von Klammern und Krammen. Diese Ausdrücke lassen sich für die von mir als Ankerzellen bezeichneten Oberhautzellen ebenfalls anwenden, wir könnten dieselben recht treffend als Klammer- oder Krammenzellen bezeichnen. Da aber, wie mir scheint, die Ausdrücke: verankern, verketten, verkoppeln, verklammern und verkrammen wesentlich auf dasselbe hinauslaufen, nämlich auf die Aufnahme einer Zugwirkung, so werde ich von dem weitestgehenden Begriff „verankern“ ausgehen und die Bezeichnung Ankerzellen beibehalten. Uebrigens kommt ja auf die Namengebung nicht allzu viel an.

Bezeichnung werden sich übrigens noch aus der folgenden Darstellung ergeben.

Für die Oberflächenbetrachtung eignen sich besonders die Scheiden von Equisetum limosum ausserordentlich gut. Die einzelnen Scheidentheile (Blätter) sind hier in der Carinalpartie nur wenig hervorgewölbt, sogenannte „Valeculae“ sind kaum vorhanden, es macht die Scheide vielmehr den Eindruck, als sei jedes Thälchen durch den vom umschlossenen Schaftstück kommenden, von innen her auf die Scheide wirkenden Druck bei der definitiven Ausgestaltung des Internodiums abgeflacht worden. Ich wähle deshalb für die folgende Darstellung die Bilder, wie sie die oberirdische Scheide von Equisetum limosum liefert (vergl. Taf. XVIII, Fig. 1).

Hier zeigt die Epidermis der Scheidencommissuren unterhalb der Reihe der Ankerzellen in der Längsrichtung der Scheide gestreckte Epidermiszellen mit mehr oder minder deutlicher Wellung und darin ausgesprochener Verzahnung ihrer Längswände. Weiter aufwärts findet man wohl hin und wieder gerade die Mediane der Commissur durch eine Längswand markirt, welche die mediane Zellreihe stellenweise zur Doppelreihe werden lässt. Noch weiter hinauf, dem Scheitel des Spaltwinkels zustrebend, treffen wir plötzlich kürzere Epidermiszellen an, welche aus der Querfächerung der sonst langgestreckten Epidermiszellen hervorgegangen sind. Rechts und links werden diese kurzen Zellen noch von den Längsreihen der übrigen längsgestreckten Epidermiszellen begleitet. Bald wird aber die mediane Zellreihe durch Einschieben neuer Längswände undeutlich, während die begleitenden Zellreihen rechts und links von der Mediane sich entfernen, um der Spitze des rechten resp. linken Scheidenzahnes zuzustreben. Nun wird auch die mediane „Ankerreihe“ deutlicher und deutlicher; von ihren Zellen gehen die Reihen langgestreckter Zellen zunächst unter sehr spitzem Winkel ab. Verfolgt man die Ankerreihe aufwärts, so wird der Winkel der seitlichen Reihen gegen sie immer grösser (Taf. XVI, Fig. 11 und 12), bis endlich eine Anordnung der Reihen deutlich wird, welche sich am besten durch ein Curvensystem wiedergeben lässt, dessen (nach einem bestimmten Object entworfenes) Schema Fig. 1 auf Taf. XVII veranschaulicht. Das System bilden parabelähnliche Curven,

deren Scheitel in die Mediane der Commissur fällt, und jeder Scheitel ist von einer der Ankerzellen gebildet. Betrachtet man das Curvensystem von der concaven Seite der Curven aus, so machen die Ankerzellen den Eindruck übereinander gelagerter Schlusssteine eines Gewölbebaues. Der Scheidenriss trifft nun gerade auf die quer sich vor ihm hin erstreckende Schlusssteinreihe; zunächst auf den Schlussstein der flachsten Curve. Hier wird also in auffälligster Weise dem weiteren Einreissen der Commissur ein kategorisches Halt geboten. Die Ausbildung eines Systems parabelähnlicher Curven kommt übrigens den oberirdischen Scheiden aller deutschen Equiseten, welche ich bisher untersucht habe, zu, nur tritt sie nicht bei allen Arten so eclatant zu Tage, wie bei Equisetum limosum. Auf ihre Existenz ist in der neueren Litteratur, wie es scheint, keine Rücksicht genommen worden; ich fand nur einen einzigen Hinweis auf den Dimorphismus der Scheidenzellen in Duval-Jouve's Histoire naturelle des Equisetum de France, Paris 1864. Es heisst daselbst im § 2 des zweiten, vom Bau der Epidermis handelnden Kapitels auf S. 27:

1. Quelle que soit la répartition des deux sortes de cellules sur ces gaînes, les cellules de l'épiderme et les cellules sous-jacentes, à mesure qu'elles se rapprochent du milieu d'un sillon, deviennent de plus en plus irrégulières, obliques et finalement transversales.

Zu dieser Schilderung werden auf Taf. XVIII in Fig. 11—18 einige Bilder gegeben, aus welchen hervorgeht, dass Duval-Jouve die Anordnung der Ankerzellen gekannt hat, doch ist er nicht zum Verständniss ihrer Anordnung gelangt.

Ich nannte oben die Curven parabelähnliche. Man wird vielleicht ein anchaulicheres Bild erhalten, wenn man sich die äussersten Spitzen je zweier benachbarten Scheidenzähne als Aufhängepunkte eines Kettensystemes denkt. Die Kettenlinien entsprechen dann unseren Curven, ihre Scheitel, die Ankerzellen, sind die tiefsten Punkte der Kettenlinien.

Um die „parabelähnliche" Natur der Curven nicht nur auf die subjective Anschauung hin gegründet erscheinen zu lassen, habe ich in einem Falle die Randcurve zwischen zwei benachbarten Zähnen einer Scheide von Equisetum limosum genauer geprüft, indem ich diejenige Reihe der Scheidenzellen verfolgte, welche an den

abgestorbenen, gebräunten Saum zwischen den Zähnen anstösst. Dieser Reihe gehört die erste[1]) intacte, farblose Ankerzelle der Commissur an; die Randcurve ist also als die innere Grenzlinie des gebräunten Randes definirt. Sie verliert sich nach den abgestorbenen Zahnspitzen hin natürlich ebenfalls in gebräunte Gewebepartien, doch lässt der Verlauf der Zellreihen die Curve auch hier noch deutlich verfolgen. Die zu prüfende Curve wurde zunächst so genau als irgend möglich mit der Camera (bei 32-facher Vergrösserung; Seibert Obj. 0) gezeichnet. Die Scheiteltangente wurde als $x =$ Axe, die Normale im Scheitel, die Symmetrieaxe der Curve, wurde als $y =$ Axe empirisch hineingezeichnet. Hierauf wurden empirisch die Abscissenwerthe für Ordinatenabstände von je einem Millimeter bestimmt und zwar für die Werthe $y = 1, 2, 3$ bis 10, dann für Abstände von je 10 mm und zwar für $y = 20, 30, 40$ und 50. Die Resultate der Messung giebt die Tabelle:

y	x
1	2,8
2	4
3	5
4	6
5	6,5
6	6,8
7	7,5
8	8
9	8,4
10	9
20	12,5
30	15
40	17
50	18

Nachdem diese Messungen ausgeführt waren, wurden für die genannten Ordinatenwerthe die Abscissen einer auf die Scheiteltangente als $x =$ Axe und den Durchmesser als $y =$ Axe bezogenen Parabel mit dem Parameter 4 berechnet. Die Gleichung dieser Parabel ist:

$$(1) \quad x^2 = 8y. \quad ^2)$$

1) Vom Commissurriss aus gerechnet.

2) Auf diese Gleichung führten die empirisch bestimmten Werthe $x = 8$, $y = 8$ hin.

Die Rechnung ergiebt die zusammengehörigen Werthe:

y	x, berechnet	x empirisch bestimmt, nach der vorigen Tabelle
1	2,8	2,8
2	4	4
3	5	5
4	5,66	6
5	6,33	6.5
6	6,9	6,8
7	7,5	7,5
8	8	8
9	8,49	8,4
10	8,94	9
20	12,6	12,5
30	15,5	15
40	18	17
50	20	18

Man ersieht aus dieser Tabelle, dass die Werthe für die Ordinaten 1 bis 10 in geradezu überraschender Weise mit den empirisch bestimmten (welche in der letzten Columne zum Vergleich beigefügt sind) übereinstimmen. Die in Fig. 2 auf Taf. XVII nach der obigen Gleichung (1) construirte Parabel wurde hierauf mit dem von der Camera gelieferten Bilde des Objects zur Deckung gebracht. Diese Deckung gelang natürlich nur für den unteren Theil der Figur (bis zur punktirten Linie, welche die Abscissen für $y = 14$ mm giebt). Weiterhin divergirten die Parabeläste stärker als die dem Object entsprechenden Curvenäste.

Ich berechnete hierauf die analogen Abscissenwerthe dreier Parabeln, für die Parameter $p = 3,8$, $p = 3,6$ und $p = 3,4$. Es ergiebt die Rechnung für:

Parabel: $x^2 = 7,6\,y$ Parameter: $p = 3,8$			Parabel: $x^2 = 7,2\,y$ Parameter: $p = 3,6$			Parabel: $x^2 = 6,8\,y$ Parameter: $p = 3,4$		
y	x	x (emp.)	y	x	x (emp.)	y	x	x (emp.)
1	2,76	2,8	1	2,7	2,8	1	2,6	2,8
2	3,9	4	2	3,8	4	2	3,7	4
3	4,77	5	3	4,63	5	3	4,5	5

Parabel: $x^2 = 7,6\,y$ Parameter: $p = 3,8$			Parabel: $x^2 = 7,2\,y$ Parameter: $p = 3,6$			Parabel: $x^2 = 6,8\,y$ Parameter: $p = 3,4$		
y	x	x (emp.)	y	x	x (emp.)	y	x	x (emp.)
4	5,3	6	4	5,36	6	4	5,2	6
5	6,17	6,5	5	6	6,5	5	5,8	6,5
10	8,7	9	10	8,5	9	10	8,25	9
20	12,3	12,5	20	12	12,5	20	11,7	12,5
30	15	15	30	14,4	15	30	14,4	15
40	17,5	17	40	17	17	40	17	17
50	19,5	18	50	19	18	50	18	18

Der Vergleich dieser Tabellen liefert das Resultat, dass bei Annahme des Parameters 3,8 eine Uebereinstimmung der berechneten mit den empirisch bestimmten Abscissenwerthe für die Scheitelregion nicht mehr recht statt hat, dagegen ist eine genügende Uebereinstimmung in dem Ordinatenintervall $y = 15$ bis 30 eingetreten. Bei der Parabel mit dem Parameter 3,6 sind die Abweichungen der berechneten von den empirischen Abscissenwerthen für die Ordinaten 1—5 schon recht erhebliche, die Uebereinstimmung ist zwischen den Ordinaten 30 und 50 zu suchen. Endlich stimmen die Werthe der Abscissen der Parabel mit dem Parameter 3,4 für den ersten Theil der Curve nur noch höchst mangelhaft mit den empirisch bestimmten Werthen überein, während eine Uebereinstimmung für das Ordinatenintervall 35 bis 50 auffällig ist.

Rein geometrisch gesprochen ergiebt sich mithin das Resultat, dass keine der vier construirten Parabeln völlig mit der Randcurve übereinstimmte. Die Parabel $x^2 = 8\,y$ ist mit der Curve congruent in der Scheitelregion, weiterhin divergiren die Parabeläste zu stark; die Parabel $x^2 = 7,6\,y$ ist am Scheitel zu spitz, erst weiterhin wird sie mit der Curve congruent, doch divergiren schliesslich die Parabeläste wieder zu stark und analog verhalten sich die Parabeln $x^2 = 7,2\,y$ und $x^2 = 6,8\,y$. Die Parabeln werden mit abnehmendem Parameter immer spitzer, die Coïncidenz mit der wirklichen Curve rückt dabei immer weiter von der Scheitelregion fort. Die Gleichung der Randcurve hat also die Form $x^2 = 2\,p\,y$, wo aber p eine Function von y sein würde.

Ich habe nun die Fig. 3 auf Taf. XVII aus drei Abschnitten

der Parabeln mit dem Parameter 4 resp. 3,6 und 3,4 zusammengesetzt. Diese combinirte Curve stimmt nun mit der Randcurve des Objects so völlig überein, dass man das Bild dieser mit der Zeichnung zur völligen Deckung bringen konnte.

Die wirkliche Randcurve stellt also in der Scheitelregion eine reine Parabel mit dem Parameter 4 dar[1]), je weiter man aber die Curvenäste zahnwärts verfolgt, um so mehr werden sie Aesten von Parabeln congruent, deren Parameter successive kleiner wird.

Die äussersten Zahnspitzen kann man schliesslich als parallel laufend ansehen, hier geht also die Parabel in ein System zweier Parallelen über, d. h. hier wird der Parameter zu Null.

Ich glaube, es genügen diese Thatsachen, um den Charakter der Curven in der Scheidencommissur der Equiseten als parabelähnlich bezeichnen zu dürfen.

Dass nun eine solche Anordnung der Zellreihen nicht nur ein Spiel des Zufalls darstellt, kann dem real denkenden Beobachter nicht in den Sinn kommen. Es ist vielmehr eine Speculation, welche zum Mindesten die grösste Wahrscheinlichkeit auf ihrer Seite hat, wenn man in jener Anordnung das Document über eine während der Entwickelung der Scheide sich abspielende Kräftewirkung erblickt. Die Erklärung jener Curvenanordnung wird damit zu einem mechanischen Problem, dessen Lösung zwar mit den heutigen Mitteln nicht herbeigeführt, wohl aber dem Verständniss nahe gerückt werden kann. Zu diesem Behufe wird es nicht überflüssig sein, wenn hier zunächst auf die Eigenschaften der Kettenlinie hingewiesen wird.

IV. Zur Theorie der Kettenlinie.

Die wesentlichen Eigenschaften der Kettenlinie finden sich in jedem Handbuche der analytischen Mechanik entwickelt, ich kann daher auf die mathematische Entwickelung ihrer Eigenschaften an

1) Ob in allen Fällen der Parameter der Scheitelregion der Randcurve gleich 4 ist, habe ich nicht untersucht, weil diese Thatsache von untergeordneter Bedeutung sein würde. Es ist a priori wahrscheinlich, dass bei verschiedenen Scheiden desselben Schaftes die Grösse um 4 herum schwankt; dasselbe würde auch wohl der Vergleich der Scheiden verschiedener Individuen von Equisetum limosum ergeben.

dieser Stelle verzichten und verweise bezüglich weiterer Information auf Sturm's Cours de mécanique, T. II, p. 48 ff. und auf die Behandlung der Kettenlinie in Weisbach's Lehrb. der Ingenieur- und Maschinenmechanik, 1. Thl., p. 235 ff. Hier mögen zunächst einige Principien aus der Theorie hervorgehoben werden:

Die Kettenlinie ist als diejenige Curve definirt, welche eine homogene, von zwei festen Punkten (A und B begrenzte Linie (von der Länge 2 l, wo $2\,l > \overline{AB}$) annimmt, wenn sämmtliche Punkte derselben durch gleich grosse, parallele Kräfte angegriffen werden.

Die Kettenlinie ist eine ebene Curve. Ihre Ebene ist bestimmt durch die beiden festen Punkte, die Aufhängepunkte, und die Richtung der (eindeutig bestimmten) resultirenden aller die Linie angreifenden Parallelkräfte. Ist die Ebene der Kettenlinie eine verticale, so kommt zu den die Punkte derselben afficirenden Kräften noch das Gewicht der Kettenlinienelemente hinzu. Ist dasselbe im Vergleich zu den die Kettenlinie spannenden Parallelkräften verschwindend klein, so wird man ohne merklichen Fehler das Gewicht ganz vernachlässigen können. Dies kann man aber um so eher, wenn aus der vertical hängenden Kettenlinie durch Drehung ihrer Ebene um die Verbindungslinie der Aufhängepunkte eine Curve in einer schiefen Ebene, in welcher die Parallelkräfte wirken sollen, gemacht wird. Es kommt dann von allen vertical gerichteten Kräften nur eine Componente bei der Bildung der Kettenlinie in Rechnung.

Es sei OM die Schnittlinie der verticalen Ebene der Kettenlinie mit einer auf ihr senkrechten Ebene (welche durch die Papierebene dargestellt sei, Taf. XVII, Fig. 8). M sei ein Punkt der Kettenlinie, in welchem das Gewicht p wirkt. Dreht man die Verticalebene um das in O errichtete Loth um einen Winkel β, so dass OM in die Lage ON übergeht, so kommt in N nur die Componente $NR = p \cos \beta$ für die Bildung der Kettenlinie in der schiefen Ebene zur Geltung. Mit wachsendem Winkel β wird $p \cos \beta$ kleiner, ist $\beta = R$, d. h. ist die Ebene der Kettenlinie die horizontale, so ist die Componente $NR = 0$, das Gewicht der Kettenlinie kommt also in diesem Falle gar nicht zur Geltung.

Denken wir uns nunmehr eine Kettenlinie, in welcher die Verbindungslinie der Aufhängepunkte AB senkrecht zur Richtung der

die Curve erzeugenden Parallelkräfte k verläuft, dann ist die Axe der Kettenlinie das im Halbirungspunkte C von AB auf AB errichtete Loth. Dasselbe schneidet die Kettenlinie in ihrem Scheitel S und stellt zugleich die Symmetrieaxe für die Curve dar. Die Zweige AS und BS sind einander gleich. Die Länge jedes derselben soll mit s, die Länge der ganzen Kettenlinie also mit 2s bezeichnet werden. Bezeichnet man dann ferner die Summe aller Parallelkräfte k mit 2K, so erfährt bekanntlich jeder der Aufhängepunkte A und B einen Druck K in Richtung der Symmetrieaxe. Dieser Druck wird aufgehoben durch den Widerstand des Aufhängepunktes. Dieser Widerstand lässt sich als eine Kraft L ansehen, deren absoluter Werth gleich K ist, welche aber dem K entgegengesetzt wirkt und welche bestrebt sein würde, den Aufhängepunkt in Richtung der Axe entgegen den Parallelkräften k vorwärts zu treiben. Ich will diese Widerstandsgrösse L die Längsspannung im Punkte A nennen. (Vergl. hierzu Taf. XVII, Fig. 9.)

Die Kräfte k suchen nun ferner die Aufhängepunkte A und B einander in Richtung ihrer Verbindungslinie zu nähern. Diesem Bestreben wird von den Aufhängepunkten ein Widerstand entgegengesetzt, welcher in A durch eine Kraft Q repräsentirt wird, welche in der Linie AB in der Richtung von B nach A wirkt. Q ist eine senkrecht zur Längsspannung wirkende Kraft, welche fernerhin Querspannung heissen soll[1]).

Die Kräfte L und Q sind in ihrer Grösse in gewisser Abhängigkeit von einander. Ihre Resultirende muss nämlich in die Richtung der in A an die Kettenlinie gelegten Tangente fallen. (Vergl. Fig. 9 auf Taf. XVII.) Ihrer Grösse nach ist die Resultirende

$$(1) \quad T = \sqrt{L^2 + Q^2};$$

sie heisst die Tangentialspannung der Kettenlinie im Aufhängepunkte. L und Q sind also als die Componenten der Tangentialspannung definirt[2]). Nennt man nun den spitzen Winkel zwischen der

1) In den Handbüchern der Ingenieurmechanik wird die Längsspannung als Verticalspannung, die Querspannung als Horizontalspannung bezeichnet, weil immer die Anschauung festgehalten wird, dass die Kettenlinie vertical abwärts hängt; so bei Weisbach, l. c.

2) Diese Definition ist die correcte. Wenn oben die Componenten der Tangentialspannung als Längsspannung und Querspannung bezeichnet

Tangente in A an der Kettenlinie und der festen Geraden AB den Aufhängewinkel und bezeichnet ihn mit α, so müssen Q und L so beschaffen sein, dass

$$(2) \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{L}{Q},$$

$$(3) \quad Q = L \operatorname{cotg} \alpha;$$

denn nur, wenn diese Gleichungen erfüllt sind, fällt T in die Richtung der Tangente in A an die Kettenlinie.

Wie verhalten sich nun die Längs- und Querspannungen an den von A aus in der Kettenlinie folgenden Punkten 1, 2, 3, 4 . . . ., welche je von einander um eine unendlich kleine, als geradlinig anzusehende Strecke entfernt sind, und wenn in jedem dieser Punkte die Parallelkraft k in Richtung der Symmetrieaxe wirkt?

Man denke sich den Angriffspunkt von T (und damit von L und Q) von A nach dem Punkte 1 verlegt [1]), dann bleibt in 1 die Componente Q völlig ungeändert, während L um k vermindert wird. Es ist also die Querspannung in 1 [2]):

$$Q_1 = Q,$$

die Längsspannung in 1

$$L_1 = L - k,$$

die Tangentialspannung in 1

$$T_1 = \sqrt{L_1^2 + Q_1^2},$$

der Neigungswinkel derselben zur festen Geraden AB

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{L_1}{Q_1}.$$

Vom Punkte 1 zu 2 kann man die analoge Kräfteverschiebung eintreten lassen. In 2 greifen dann L_1, Q_1 und k an. Es wird dann: die Querspannung in 2

$$Q_2 = Q_1 = Q;$$

---

werden, so folge ich dem conventionellen Sprachgebrauche der Ingenieure, welche jede beliebig gerichtete Componente einer Spannung wieder als Spannung bezeichnen.

1) In der Fig. 9 auf Taf. XVII sind die Strecken $\overline{A1}$, $\overline{1,2}$, $\overline{2,3}$ etc. natürlich von endlicher Länge gezeichnet.

2) Durch den Index 1 markirt. Ebenso erklären sich die nachfolgenden Indices.

die Längsspannung in 2

$$L_2 = L_1 - k = L - 2k;$$

die Tangentialspannung in 2

$$T_2 = \sqrt{L_2^2 + Q^2},$$

ihr Neigungswinkel zu AB

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{L_2}{Q_2} = \frac{L_2}{Q}.$$

Geht man so schrittweise zu Punkt 3, 4, 5 . . . . und so fort durch alle Punkte der Curve bis zum n^{ten} Punkte hin, so erhält man:
die Querspannung im n^{ten} Punkte

$$(4) \quad Q_n = Q_{n-1} = Q_{n-2} \ldots = Q;$$

die Längsspannung im n^{ten} Punkte

$$(5) \quad L_n = L_{n-1} - k = L_{n-2} - 2k = L_{n-3} - 3k = \ldots = L - nk;$$

die Tangentialspannung im n^{ten} Punkte

$$(6) \quad T_n = \sqrt{L_n^2 + Q^2},$$

ihr Neigungswinkel zu AB

$$(7) \quad \operatorname{tg} \alpha_n = \frac{L_n}{Q}.$$

Im Scheitel der Kettenlinie ist:
die Querspannung

$$(8) \quad Q_s = Q,$$

die Längsspannung

$$(9) \quad L_s = L - K = 0,$$

die Tangentialspannung

$$(10) \quad T_s = Q_s = Q,$$

ihr Neigungswinkel zu AB

$$(11) \quad \alpha = 0.$$

Diese Resultate lassen sich in die Sätze zusammenfassen:

Die Querspannung ist in allen Punkten einer Kettenlinie dieselbe. In jedem Punkte lässt sie sich bestimmen als das Product aus der in dem Punkte wirksamen Längsspannung und der cotg des Neigungswinkels der in demselben Punkte an die Curve gelegten Tangente gegen die Normale zur Symmetrieaxe [folgt aus Gl. (4) und (7)].

Die Längsspannung ändert sich in jedem Punkte eines Curvenastes. Ihren Maximalwerth hat sie im Aufhängepunkte;

hier ist sie gleich der halben Summe aller die Kettenlinien angreifenden Parallelkräfte. Nach dem Scheitel hin nimmt die Längsspannung continuirlich ab, im Scheitel ist sie gleich Null. Uebrigens ist ihr Werth für jeden beliebigen Punkt des Curvenastes gegeben durch die Differenz, deren Minuend die halbe Summe aller gegebenen Parallelkräfte, deren Subtrahend die Summe aller zwischen dem Aufhängepunkte und dem Punkte x wirkenden Kräfte ist; in Zeichen also:

$$L_x = K - \sum_0^x k,$$

das ist aber keine andere Grösse als die Summe aller von dem Punkte x bis zum Scheitel hin wirksamen Kräfte.

Die Tangentialspannung ändert in jedem Punkte eines Curvenastes. Sie ist eine Function der Längsspannung. Mit dieser hat die Tangentialspannung ihren Maximalwerth im Aufhängepunkte, ihren Minimalwerth im Scheitel der Kettenlinie. Im Scheitel sind Tangentialspannung und Querspannung identisch.

Man vergleiche nun zwei verschieden lange, von denselben festen Aufhängepunkten A und B ausgehende Kettenlinien mit einander unter der Voraussetzung, dass beide Curven aus demselben homogenen Material bestehen und dass die Längsspannung in je zwei Punkten beider Curven, welche auf derselben zur Symmetrieaxe parallelen Linie liegen, dieselbe ist. Dann ist die Längsspannung L in den Aufhängepunkten für jede der beiden Kettenlinien dieselbe. Die Querspannung ist dagegen in der kürzeren Kettenlinie die grössere, denn es verhalten sich, wenn die Aufhängewinkel mit α und α' bezeichnet:

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\alpha'} = \frac{\frac{L}{Q}}{\frac{L'}{Q'}} = \frac{L\,Q'}{Q\,L'}\ ^{1)},$$

und da nach der Voraussetzung die Längsspannung $L = L'$ sein soll, so folgt:

$$\frac{\operatorname{tg}\alpha}{\operatorname{tg}\alpha'} = \frac{Q'}{Q},\ \text{oder}$$

1) Die mit dem Index behafteteten Grössen mögen sich auf die längere Kettenlinie beziehen, so dass also $\alpha < \alpha'$ angenommen wird.

$$\frac{Q}{Q'} = \frac{\operatorname{cotg} \alpha}{\operatorname{cotg} \alpha'},$$

das heisst, die Querspannungen in beiden Curven verhalten sich zu einander wie die Cotangenten ihrer Aufhängewinkel; die Querspannung ist in allen Punkten der tiefer hängenden Kettenlinie geringer als die Querspannung in den Punkten der flacheren Kettenlinie, ein Resultat, welches nicht überrascht, denn es drückt ja nur aus, dass von zwei in gleicher Weise belasteten Kettenlinien diejenige straffer ist, welche die flachere Curve darstellt.

Hat man nun ein System von beliebig vielen, ungleich langen Kettenlinien, welche von zwei gemeinsamen Aufhängepunkten ausgehen und für welche die Längsspannung auf allen Punkten jeder zur gemeinsamen Symmetrieaxe parallelen Linie dieselbe ist, in welchem Falle dann auch die Längsspannungen in den gemeinsamen Aufhängepunkten dieselben sind, so nimmt die Querspannung (welche für alle Punkte einer und derselben Kettenlinie dieselbe ist) von der flachsten Kettenlinie des Systems continuirlich bis zur tiefsten Kette hin ab. Schneidet man ein solches, eine Ebene erfüllendes System von Kettenlinien durch eine zur gemeinsamen Axenrichtung senkrechte Linie, so ist die Spannung in dieser Transversalen ein Maximum in ihrem Schnittpunkte, mit der Axenlinie nach rechts und links von diesem nimmt die Spannung in gleicher Weise ab. Alle Punkte der Transversalen werden von Kräften angegriffen, welche in die Richtung der Transversalen fallen und deren Grösse mit der Entfernung von der Symmetrielinie der Curven abnimmt. In je zwei Punkten der Transversalen, welche gleich weit von ihrem Schnittpunkte mit der Symmetrielinie entfernt liegen, herrscht dieselbe Spannung[1]).

Operirt man mit einem wie oben besprochenen ebenen Kettensysteme, so ergeben sich einige Beziehungen, auf welche hier noch kurz hingewiesen werden soll. Zunächst soll die Summe der Längsspannungen eine constante sein.

Nähert man dann die beiden Aufhängepunkte des Systems um die gleiche Strecke dem Halbirungspunkte ihrer Verbindungslinie, so nimmt die Querspannung in jeder der Kettenlinien ab, der Auf-

1) Zur Erklärung hierzu kann man sich die Fig. 4 und in dieser die Transversale $y\,y'$ wählen.

hängewinkel jeder Linie des Systemes wird grösser; immer aber bleibt die Querspannung der flachsten Linie die relativ grösste, immer bleibt in jeder Transversalen senkrecht zur Axenrichtung die Spannung im Schnittpunkte der Transversalen mit der Axe die grösste bezüglich der in allen anderen Punkten der Transversalen in ihrer Richtung herrschenden Spannungen.

Lässt man unter denselben Bedingungen die Aufhängepunkte sich um die gleiche Strecke vom Halbirungspunkte ihrer Verbindungslinie entfernen, so nimmt die Querspannung in allen Kettenlinien zu, der Aufhängewinkel jeder Linie des Systems wird kleiner. Aber auch in diesem Falle bleibt die Querspannung der flachsten Curve immer die relativ grösste, sie wächst schneller als die Querspannung der tieferen Kettenlinien, dessen Q wächst, wie gezeigt wurde, proportional der Cotangente des Aufhängewinkels. Tritt ein Zerreissen des Kettensystemes ein, so muss es bei Homogeneität des Materiales immer die flachste Kettenlinie zuerst betroffen, dann würde die nächst tiefere Kette folgen und so fort.

Schliesslich noch eines. Es bleibt für alle obigen Betrachtungen gleichgültig, ob die ursprünglich betrachteten Parallelkräfte die active Rolle spielen, so dass die Tangentialspannungen resp. die Längs- und Querspannungen als die Folge erscheinen, oder ob umgekehrt die Längs- und Querspannung resp. die Tangentialspannungen die activ wirkenden, primären Kräfte sind, aus welchen die Parallelkräfte als eine Folge hervorgehen. Es heisst das mathematisch gesprochen nichts anderes als die unabhängigen Veränderlichen zu den abhängigen Veränderlichen machen oder umgekehrt, was schliesslich nichts anderes heisst, als Ursache und Wirkung mit einander vertauschen. Sind die Parallelkräfte im Kettensysteme die abhängigen Kräfte, so wird man sie als passive Widerstände ansehen können. Wächst die Längs- oder die Querspannung an den Aufhängepunkten, so wird ein Wachsen der Längs- und Querspannungen an allen Punkten des Systemes statthaben. Mit dem Wachsen der Längsspannungen wachsen aber auch die parallel gerichteten Widerstandskräfte.

Wie lässt sich nun diese rein theoretische Erörterung mit der Anordnung der Curven in der Commissur der Equisetenscheiden in Beziehung bringen? Diese Frage zu erörtern ist die Aufgabe des folgendes Abschnittes.

V. Ein Erklärungsversuch für die Commissuralcurven der Equisetenscheiden.

Die Bildung der Commissuralcurven der Equisetenscheiden beginnt mit der Bildung der Scheidenzähne und endet mit dem Durchtritt der Stammknospe durch die von der Scheide und ihren Zähnen gebildeten Gewölbekuppel. Ein Erklärungsversuch muss also nothwendig an die hierbei zu beobachtenden Erscheinungen anknüpfen, von welchen unsere Darstellung ausging.

Zunächst baut sich der mit der Scheitelkante wachsende Ringwall der jungen Scheidenanlage aus gleichwerthigen, meristematischen, Kräftewirkungen gegenüber sich daher bis zum gewissen Grade plastisch verhaltenden Zellen auf. Nun wachsen zwei Zellen resp. Zellcomplexe (A und B) der Scheitelkante in einer gewissen, der betreffenden Equisetumart eigenthümlichen Entfernung plötzlich und von nun an dauernd in der Axenrichtung des Sprosses beschleunigt vorwärts, die Spitzen der Zahnanlagen darstellend. Das beschleunigte Wachsthum greift aber auch — und das ist das wichtigste Moment — bald auf die unterhalb der Zahninitialen liegenden, die spätere Carinallinie ausmachenden Elemente zurück. Hier sind es namentlich die jungen Epidermiszellen der Scheidenaussenseite, welche beträchtlich in die Länge wachsen und dadurch das Zusammenneigen der Zahnanlagen begünstigen. Wir haben es also mit einer eindeutig ausgesprochenen bevorzugten Wachsthumsrichtung im meristematischen Gewebeverbande liegender Elemente zu thun. Für die Ursache dieser Bevorzugung fehlt uns freilich nach dem heutigen Stande unserer Kenntnisse jedwede Erklärung. Das bevorzugte Längenwachsthum der Endzellen der Equisetenzähne ist aber eine Thatsache, welche schon Duval-Jouve auffiel. Er giebt nach Reess (l. c. p. 226) in seiner „Histoire naturelle des Equisetum de France“ auf p. 57 an, dass sich die Endzellen der Scheidenzähne in kurzer Zeit um das Drei- bis Vierfache verlängern, bei Equisetum Telmateja soll die Streckung bis auf das Zehnfache der ursprünglichen Zellenlänge steigen. Nun stehen die Längswände der be-

schleunigt in die Länge wachsenden Zellen in Zusammenhang mit den Längswänden der embryonalen, plastischen Zellen der Scheidencommissur, denen entweder gar kein oder doch nur ein sehr geringes Wachsthum in der Längsrichtung des Organes eigen ist. Mir will es nun scheinen, dass in diesen Thatsachen die Bildung der Commissuralcurven ihre Erklärung finden kann. Die in der Richtung der Zahnmediane lange Zeit dauernd beschleunigte Wachsthumskraft sehe ich an als ein Analogon der Längsspannung L, welche in den im vorigen Abschnitte mit A und B bezeichneten Aufhängepunkten des Kettensystems wirksam gedacht wurde. Wachsen die Zahnanlagen an getrennten Punkten der Scheitelkante der Scheide hervor, so treten Verschiebungen resp. Gestaltänderungen der sich passiv verhaltenden Meristemzellen auf. Die vorher gerade Scheitelkante wird zwischen je zwei Zahnanlagen zunächst eine schwache Krümmung erleiden, es constituirt sich eine flache Kettenlinie, welche mit dem fortschreitenden Vorwärtswachsen der Zahnspitzen und dem relativen Wachsthumsstillstand der Zellen der Commissurmediane sich mehr und mehr krümmt, bis die Kettenlinie einen tiefen Einschnitt zwischen den beiden Zähnen darstellt. Das nun aber gerade die Form der Kettenlinie resultirt, wäre darin begründet, dass der Dehnungswiderstand auf allen parallel der Organaxe verlaufenden Längslinien der jungen meristematischen Scheide annähernd derselbe sein muss, bis die definitive Umgestaltung der einzelnen Zellen ihre Gleichwerthigkeit verschwinden lässt.

Die Bildung einer Kettenlinie wird nun auch nicht nur auf den Scheidenrand beschränkt bleiben. Je weiter die als Zahnspitzen der Scheide hervortretenden Punkte im Wachsthume vorwärtseilen und je mehr Zellen der Zahnmediane sich basiswärts dem bevorzugten Wachsthume anschliessen, um so mehr werden sich die auf die Randlinie folgenden Meristemzellreihen bestreben, sich der Kettenlinienbildung anzuschliessen, bis der Uebergang der basalen Scheidenpartie in den Dauerzustand den Einfluss der Zahnbildung am Scheidenrande compensirt. Die Kettenlinien brauchen aus diesem Grunde auch gar nicht bis zur Basis der Scheide verfolgbar sein.

Von den zur Ausbildung gelangten Kettenlinien wird nun die flachste die grösste Querspannung erleiden, während die Querspannung der folgenden Schritt für Schritt abnimmt, wie es im vorigen Ab-

schnitte theoretisch auseinandergesetzt wurde. Mit diesem Postulate stimmt zunächst der thatsächliche Befund auf's Schönste überein. Die Ankerzellen nehmen in allen von mir beobachteten Fällen von der obersten nach der untersten an Länge beständig ab, bis die Ankerreihe ganz auskeilt. Die lange Seite fällt aber allemal in die Querrichtung, in die Richtung der Tangente am Scheitel der betreffenden Kettenlinie.

Nun kommt freilich hinzu, dass die Zahnspitzen über der Sprossscheitelzelle allmählich sich mehr und mehr zusammenneigen. Dieses Zusammenneigen bleibt aber nach der theoretischen Auseinandersetzung ohne wesentlichen Effect. Es heisst ja dies nichts anderes, als es treten, wie oben erörtert, die Aufhängepunkte der Kettenlinien näher aneinander. Dies influirt das System der Kettenlinien aber nicht anders, als dass in allen Curven die Querspannung herabgesetzt wird. Die Scheide hat also in der Knospe natürlich keinen Grund zum Einreissen. Treibt nun aber die Stammknospe aus, so werden die Scheidenzähne wieder, wie früher geschildert, von einander entfernt, wenn sie nicht etwa an der Spitze festgeklemmt und in der Längsrichtung fortgezogen werden. Tritt letzteres ein, dann steigt in allen Kettenlinien der Scheidencommissur wieder die Längsspannung, sie behält aber in den Aufhängepunkten A und B, d. h. an den äussersten Zahnspitzen, ihren maximalen Werth. Reicht nun die Elasticität der Zellmembranen in der Carinallinie des Zahnes nicht mehr aus, um der vermehrten Längsspannung das Gleichgewicht zu halten, so reisst eben die Zahnspitze ab.

Wird dagegen beim Durchtritt der Stammknospe durch die fertige Scheide die Entfernung zweier benachbarten Zahnspitzen (nach der in den Gleichungen (14) auf S. 511 dieses Bandes entwickelten Formel) vergrössert, so wird die Querspannung in allen Punkten der Scheiden gesteigert, und es tritt der Elasticitätsbruch endlich in den Kettenlinien ein und zwar nothwendig, wie es die Theorie verlangt, zuerst im Scheitel der flachsten Kettenlinie, welche von vorn herein die relativ maximale Querspannung besass.

In der Wirklichkeit tritt nun freilich manche störende Complication hinzu. Zunächst bilden sich die Epidermiszellen und das darunter liegende Gewebe in verschiedener Weise aus. In der fertigen Scheide zeigen alle Epidermiszellen den Charakter festigender

Elemente, das darunter liegende „Füllgewebe“ ist zartwandig, lacunös. Dann dürfte das verschiedene Alter der Epidermiszellen verschiedene physikalische Beschaffenheit bedingen, so dass bei der Ausbildung der Kettenlinien die Zellen der mittleren und oberen Scheidenregion eine andere Dehnbarkeit zeigen, als die der Scheidenbasis genäherten Zellen. Immerhin zeigt doch aber das Factum, dass die in der Entwickelungsperiode der Scheide sich abspielende Kräftewirkung jenes Curvensystem der Commissur erzeugt, und genügt es uns, den Weg skizzirt zu haben, auf welchem uns das Spiel der Kräfte insoweit verständlich wird, als es die vorhandenen Daten gestatten. Die Verificirung der obigen Speculation wird im weiteren Verlauf dieser Mittheilung versucht werden. Zunächst mag jedoch noch auf einige Thatsachen verwiesen werden.

Es ist bei dem Curvensystem der Equisetumscheiden augenscheinlich, dass die von der Randcurve entfernter verlaufenden Curven, namentlich aber diejenigen, in deren Scheiteln sich die Ankerreihe auskeilt, spitzer auslaufen, als es ein System von Kettenlinien zur Anschauung bringt, dass auch die Curvenäste auf beiden Seiten der Commissurlinie mehr gestreckt erscheinen; ihre Krümmung ist in allen Punkten geringer als bei der gemeinen Kettenlinie. Man kann nun ein System von Kettenlinien empirisch auf diese Form bringen, wenn man den Scheitel jeder Kettenlinie, in welchem ja theoretisch keine Längsspannung wirksam ist, mit einer solchen behaftet[1]). Bei der Equisetenscheide muss dies annähernd realisirt sein, denn die Mittellinie der Commissur kann hier nicht ohne jegliche Längsspannung bleiben, wie sich aus der Betrachtung eines Systemes von Kettenlinien mit veränderlicher Entfernung der Aufhängepunkte leicht deduciren lässt. Eine gewisse Selbstständigkeit wird man auch schliesslich im Gewebeverbande jeder einzelnen Zelle zuerkennen müssen, die Zellen verhalten sich nicht absolut passiv. Es wachsen auch sicher alle Zellen der Scheide in der Richtung der Längsaxe des Sprosses, aber dieses Wachsthum ist bei den Commissuralelementen sehr gering, bei den Ankerzellen am allergeringsten. Nach unserer Darstellung wäre also die Curvenanordnung auf den Commissuren der Equisetenscheiden ursächlich bedingt durch den

1) Etwa durch Beschweren der Scheitellinie des Systemes durch ein Gewicht.

während der ganzen Entwickelungsperiode anhaltenden Unterschied im Längenwachsthum von Zahn- und Commissuralelementen.

Ebenso wie die tiefer herabreichenden Commissurcurven von der Form der im theoretischen Theile besprochenen Kettenlinie abweichen, variiren, wenn auch in geringerem Maasse, die dem Commissurrande angehörigen Curven. Es wurde ja in einem der vorangehenden Abschnitte die „parabelähnliche“ Natur der Randcurve zwischen den Scheidenzähnen von Equisetum limosum ausführlich nachgewiesen. Nun ist aber bekannt, dass unter gewissen Voraussetzungen die von uns erörterte Kettenlinie in eine Parabel übergeht, und dass bei ungleicher Vertheilung der Parallelkräfte die Kettenlinie in eine Curve übergeht, welche zwischen einer Parabel und einer Ellipse liegt[1]). Auch das stimmt mit unserer Besprechung der Randcurve überein, sie ist eine Parabel, deren Aeste im weiteren Verlauf sich nähern, wie etwa die von dem Scheitel der grösseren Axe einer Ellipse ausgehenden Ellipsenquadranten den Scheiteln der kleinen Axe zustreben. In der organischen Natur vorkommende Curven aber auf völlig reine mathematisch definirte zurückführen zu wollen, wird immer ein verfehltes Beginnen sein. Wir begnügen uns daher mit den obigen Erörterungen und dem behandelten Erklärungsversuch.

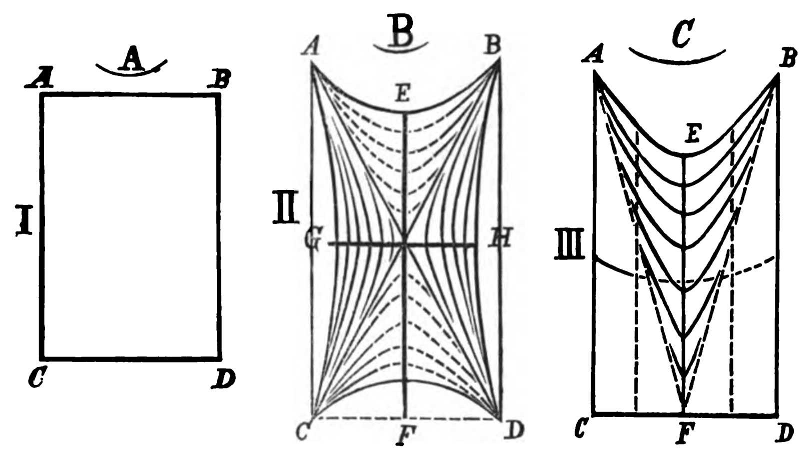
Uebrigens giebt es noch ein sehr einfaches Mittel, um von der Wirkung der Kräfte, wie wir sie uns vorstellen, ein recht anschauliches Bild zu erhalten, ohne dass diesem Mittel vor der Hand irgend welche Beweiskraft für unsere Deductionen beigemessen werden soll, Es soll durch dasselbe zunächst lediglich die Anschauung erleichtert werden.

Man befestige eine kräftige, rechteckige Kautschukplatte ABCD zunächst nur an den Ecken C und D (siehe die Skizze A auf der folgenden Seite) und dehne die Platte dadurch, dass man die Punkte A und B in der Richtung der Seiten AC und BD, also mit ungeändert bleibendem Abstande, vorwärts zieht. Die Platte nimmt dann die Form eines Viereckes mit gebogenen Seiten an (Skizze B). Jede der begrenzenden Seiten ist eine „Curve mit gleicher Querspannung in allen Punkten“. Die Ebene weist vier Schaaren solcher Curven auf; jede Schaar erfüllt einen der von den Linien AD und BC gebildeten Winkel. Die

1) So die Curve belasteter Brücken etc. Man vergleiche die Lehrbücher, z. B. Weisbach, l. c.

Halbirungslinien dieser Winkel sind die Symmetrieaxen der Curvensysteme. Sie sind die Linien geringster Dehnung in der Ebene ABCD.

Sorgt man nun dafür, dass die Linie CD in allen ihren Punkten festliegt, und dass auch AC und BD beim Dehnen der Platte gerade Linien bleiben, so nimmt dieselbe eine Form an, welche mit dem Bilde eines zwischen zwei benachbarten Carinallinien liegenden Stückes einer Equisetenscheide übereinstimmt.



Eine Schaar von „Curven gleicher Querspannung" liegt in dem von den Linien AF und BF gebildeten Winkel[1]). Die Verbindungslinien von A mit allen Punkten der Strecke CF und ebenso von B mit allen Punkten der Strecke CF sind „Linien gleicher Quer- und Längsspannung".

VI. Weitere Gründe für die Theorie der Entstehung der Commissuralcurven.

Man wird nun vielleicht geneigt sein, die obigen Erklärungsversuche für eine reine Speculation zu halten, deren Schwächen sich hinter der mathematischen Deduction nur allzu leicht verstecken

1) Die streng mathematische Begründung für diese Erörterung zu geben, mag der Zukunft vorbehalten bleiben. Da das Experiment mit der homogen gedachten Kautschukplatte hier lediglich der Anschauung dienen soll, so soll hier auf die mathematische Begründung verzichtet werden.

können. Es stützt sich ja die Speculation wesentlich nur auf die Thatsache, dass die Zellen des Carinalgewebes, besonders der Zähne selbst, zweifellos eine Bevorzugung ihres Wachsthums in der Längsrichtung erfahren. Dass ein solches Wachsthum nothwendig Spannungen zur Folge haben muss, kann bestritten werden; es könnte ja die ganze Anordnung der Zellen in der Commissur bei einem völlig harmonischen Wachsthume ausgebildet werden, ohne dass bei der Constitution der parabelähnlichen Curven überhaupt irgend welche Spannungen entstehen. Die Curven wären dann eine nach dem Princip der Zweckmässigkeit zur Ausbildung gelangte Schutzeinrichtung der Scheidencommissur. Es kann dann aber ferner der Gedanke Platz greifen, dass die Curven vielleicht gar nicht auf Zug in Anspruch genommen werden, dass sie vielmehr dazu bestimmt sind, einem gegen die Zahnspitzen in Richtung der Längsaxe des Equisetumsprosses zur Wirkung kommenden Drucke das Gleichgewicht zu halten. Die Scheiden würden dann nur so lange mechanisch functioniren, als jener Druck andauern würde, und die parabelähnlichen Curven wären dann Drucklinien, wie wir sie bei der Anordnung der Gewebeelemente in Wurzelhauben und Wurzelscheiteln, namentlich bei den Coniferen und Monocotylen, aber auch anderwärts in so schöner Ausbildung längst kennen gelernt haben. Solchen berechtigten Einwänden gegenüber muss es daher erwünscht erscheinen, dass weitere Gründe für die oben ausgesprochenen Ansichten beigebracht werden, um die Wahrscheinlichkeit ihrer Richtigkeit zu erhöhen. Dies wird schon dadurch theilweise geschehen sein, wenn die oben erwähnten Möglichkeitnn bei der Prüfung zu Unwahrscheinlichkeiten oder Unmöglichkeiten führen.

Zunächst mag die Frage Erledigung finden, ob die Curven etwa auf Druck hin in Anspruch genommen werden. Hierbei muss nun von vorn herein daran erinnert werden, dass die Idee dieser Möglichkeit wesentlich aus dem Vergleich der Formen entspringt, die Curven der Equisetenscheiden stimmen in auffälliger Weise mit Linien überein, welche wir an Wurzelscheiteln zu finden gewohnt sind. Die Relation zwischen dem Curvensystem und dem schutzbedürftigen Organe ist aber doch in beiden Fällen eine wesentlich verschiedene. Die Wurzelscheitel zeigen die Curvenanordnung ihrer Elemente auf axilen Längsschnitten, die Concavität der Curven ist

der Wurzelbasis zugewandt, und zweifellos ist diese Anordnung eine zweckmässige Construction gegen den normal zur Oberfläche des Wurzelscheitels wirksam zu denkenden Druck des umgebenden Mittels, dessen Widerstand ein dauernder ist. In ganz anderer Lage befindet sich das Curvensystem der Scheidencommissur bei den Equiseten. Die von dem Curvensysteme erfüllte Fläche entspricht keinem axilen Längsschnitte[1]), sie bildet vielmehr ein Stück der Organoberfläche. Sieht man von der geringen Krümmung dieses Flächenstückes ab, so erfüllen die Curven in der Mehrzahl der Fälle eine Tangentialebene. In dieser liegt die Concavität der Curven gerade umgekehrt wie bei den Wurzelscheiteln, sie ist scheitelwärts gerichtet, nicht wie bei den Wurzelscheiteln nach der Basis hin. Die Variation der Lage der Fläche des Curvensystemes und die Umkehrung der Relation zwischen Concavität und Scheitel bedingen freilich noch nicht eine „Umkehr des Druckes"[2]), den die Wurzelscheitel aufnehmen, in einen Zug, dem die Scheidenzähne ausgesetzt sind, obwohl dieser Analogieschluss sehr plausibel erscheinen möchte. So viel geht aber mit Sicherheit aus der Betrachtung hervor, dass die Curven der Equisetenscheiden keine Homologa der Curven in den Wurzelscheiteln sein können.

Viel wichtiger erscheint hier die Thatsache, dass die Carinalpartien der Equisetenscheiden, welche ausser allem Zweifel wegen ihrer Wölbung zuerst auf Hindernisse stossen, wenigstens so lange die Sprossspitzen nicht über der Bodenoberfläche erscheinen, keinerlei Curvenanordnung ihrer Elemente erkennen lassen, weder auf der Flächenansicht, noch auf Quer- oder Längsschnitten. Der Schutzbedürftigkeit der Carina entspricht vielmehr ein längsgerichtetes Bastbündel (Sclerenchymfaserbündel), welches die Mittellinie des Zahnes, diese auch nach aussen hin markirend und unmittelbar unter der Epidermis der Scheidenaussenseite hinziehend, erfüllt. Unter den Schutz dieses Bastbündels stellt sich in der bekannten Weise auch das Leitbündel, welches in rudimentärer Ausbildung jedem Scheidenzahne zukommt. Zudem muss nun noch betont werden, dass die Ausbildung des Curvensystems auch den Comissuren **aller** Equisetenscheiden zukommt, auch denen, welche niemals vom Erddruck zu

1) Wenigstens in der Mehrzahl der Fälle; nur **Equisetum hiemale** könnte hier in beschränktem Sinne angeführt werden.

2) Man wolle diesen Ausdruck einmal zulassen.

leiden haben, welche angelegt werden, wenn die Sprossspitze bereits über dem Erdboden erschienen ist, welche von aussen her nur dem Atmosphärendruck ausgesetzt sind. Es könnte hier höchstens noch von dem Drucke der äusseren Scheiden auf die von ihnen umschlossenen inneren Scheiden die Rede sein. Dieser wirkt aber normal zur Organoberfläche, er hält dem Radialdrucke der an Dicke zunehmenden Internodien resp. der sich mehr und mehr entwickelnden umschlossenen Scheidenbasen das Gleichgewicht. Es entspricht diesem Radialdrucke nach meiner Auffassung die Anordnung der Zellreihen, welche man an der Basis der jungen Scheiden auf axilen Längsschnitten durch die Stammknospen so schön beobachten kann [1]). Eine Beeinflussung der Anordnung der Gewebeelemente in der Richtung der Organoberfläche kann aus dem Radialdrucke nicht resultiren. Die einzige Möglichkeit einer derartigen Beeinflussung könnte nur daraus hergeleitet werden, dass die an dem Scheidenrande hervortretenden Zähne resp. die Scheidenränder selbst bei dem Längenwachsthume der Scheide frühzeitig gegen die Innenwand der nächst äusseren Scheide stossen, dann an dieser Innenwand entlang gleiten, wobei sich die Zähne einander zuneigen, bis der Spaltwinkel zwischen ihnen verschwindet und die Zähne in die Scheidenkuppel gewaltsam hineingedrängt sind. Aber auch dann müssen die Carinalgewebe zuerst den Druck aufnehmen, während die Commissuralgewebe eine mehr oder minder weitgehende Längsfaltung (nach Art eines Faltenfilters) erleiden, so dass der Querschnitt dem Schema ‾V‾V‾ entspricht. Ist die Längsfaltung wegen Raummangels nicht möglich, so wird auch wohl ein Theil des Commissuralgewebes von den Seiten her zerknittert. Solche Fälle beobachtete ich oft bei Scheiden von Equisetum hiemale (Fig. 3 auf Taf. XIX). Die Epidermiszellen der Innenwand der Carinalpartien wölben sich dabei gleichzeitig blasen- oder polsterförmig nach innen vor (Taf. XIX, Fig. 3). Hält nun das Längenwachsthum der Zähne oder der sie tragenden geschlossenen Scheide noch länger an, so tritt, falls die umhüllenden Scheiden nicht an ihren Spitzen durchbrochen werden, eine Knitterung oder Faltung der Zähne und des oberen Scheidentheils in querer Richtung ein, eine Erscheinung, welche ich an Sprossspitzen von Equisetum

1) Man vergl. die bekannten Abbildungen, welche Reess, Sachs, Strasburger und die bekannten botanischen Lehrbücher bringen.

hiemale häufig beobachten konnte. Hier bieten die freipräparirten Scheiden oftmals das Bild einer im Rococostyl gebauten Thurmspitze dar (vergl. Taf. XIX, Fig. 4 und 5). Die beiden Abbildungen stellen zwei aufeinander folgende, ineinander geschachtelt gewesene Scheiden (die 7. und 8. von aussen, die 5. und 6. von innen gerechnet) dar. Stellt sich in solchen Fällen das früher erwähnte Abreissen der ganzen oberen Scheidenkuppe ein, so findet es immer an der untersten Knickungsfurche statt, welche ringförmig den persistirenden Scheidentheil gegen den hinfälligen, die Zähne tragenden abgrenzt.

Alle diese Erörterungen sind freilich betreffs der Cardinalfrage nur negativer Natur, sie machen es aber höchst unwahrscheinlich, dass die Commissurcurven auf Druck in Anspruch genommen werden. Daraus folgt noch nicht mit zwingender Nothwendigkeit, dass die Curven eine zweckmässige, auf Zug hin in Anspruch zu nehmende Construction darstellen. Es liegt hier keine Contradiction vor, auf welche das principium exclusi medii Anwendung findet. Es wäre ja eben möglich, dass die Linien weder auf Druck noch auf Zug hin geprüft werden. Diese Möglichkeit hat freilich gar keine Wahrscheinlichkeit für sich, denn dann wäre überhaupt die Zweckmässigkeit der ganzen Curvenconstruction zu verneinen und als eine leere Fiction aufzufassen. Eine letzte Möglichkeit wäre endlich die, dass die Curven zeitweise auf Druck, zeitweise auf Zug hin in Anspruch genommen werden. Man denke sich eine eng anliegende Scheide wie bei Equisetum limosum und beuge den normal senkrecht aufstrebenden, säulenartigen Stamm nach einer Seite hin. Dann erfahren alle Theile der Pflanze auf der concaven Seite des gebogenen Stammes einen gewissen Druck, alle auf der convexen Seite aber einen Zug. Druck und Zug könnten sich simultan auf die anliegenden Scheiden übertragen. Es würden eben so viele der commissuralen Curvensysteme einer Scheide auf Druck in Anspruch genommen werden, wie auf der anderen Seite Curvensysteme auf Zug in Anspruch genommen werden, so dass die Summe aller Druckkräfte gleich der Summe aller Zugkräfte wäre. Beide Summen addiren sich algebraisch zu Null, sobald die den Stamm beugende Kraft zu wirken aufhört, die Scheide federt dann sozusagen in ihren Gleichgewichtszustand zurück. Diese Speculation hat aber offenbar gar keinen Sinn, so lange die Scheiden nach unserer Meinung ihre

36*

Hauptfunction ausüben. Sie hat nur Sinn für die eng anliegende Scheide an der Basis gestreckter Internodien, findet aber keine Anwendung auf die trichterförmigen, manschettenartigen Scheiden, welche die Curvensysteme nicht minder schön zeigen.

Angesichts dieser Sachlage war ich nun bestrebt, nach positiven Gründen für den Nachweis von Spannungen zu suchen, welche der von mir aufgestellten Theorie entsprechen mussten. Ich wählte hierzu — und, wie ich vorweg anführen darf, mit Erfolg — das Mittel der optischen Untersuchung mit Hülfe des Polarisationsmikroskopes.

VII. Das Verhalten der Equisetenscheiden im polarisirten Lichte [1].

Die zur Zeit herrschende Theorie des Lichtes geht von der Annahme aus, dass ein Lichtstrahl durch transversal zu seiner geradlinigen Fortpflanzungsrichtung erfolgende Schwingungen des Aethers entsteht. Vollziehen sich die Schwingungen stets in einer und derselben Ebene, so wird der Lichtstrahl polarisirt [2]) genannt; ein solcher zeichnet sich durch besondere Eigenschaften aus. Die zur Schwingungsebene des Strahles senkrechte Ebene wird nach Fresnel und anderen die Polarisationsebene des Strahles genannt [3]). Unter den Mitteln zur Erzeugung polarisirten Lichtes — Polarisatoren — hat sich das sogenannte Nicol'sche Kalkspathprisma (kurzweg als Nicol bezeichnet) in der mikroskopischen Technik fast ausschliesslich Eingang verschafft [4]). Der Querschnitt eines solchen Prismas ist eine Raute, in welcher die Verbindungslinie der stumpfen Ecken, die kürzere Diagonale, nach Fresnel's Annahme die Projection der

---

1) Wer mit der Theorie desselben vertraut ist, wird die ersten Seiten dieses Abschnittes überschlagen und die Lektüre mit der ersten Zeile auf S. 544 wieder aufnehmen.

2) Exacter ist der Ausdruck „linear polarisirt".

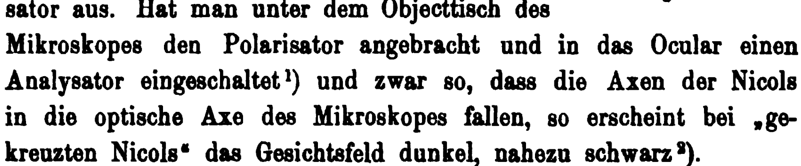
3) Nach Neumann's Annahme, welcher sich eine Zahl namhafter Physiker anschloss, fällt die Schwingungsebene mit der Polarisationsebene zusammen. Vergl. Müller-Pouillet, Lehrb. der Physik. 2. Bd., 1. Hälfte, p. 495.

4) Die Construction und die optische Wirkung eines Nicol'schen Prismas findet man in jedem Lehrbuch der Physik beschrieben. Vergl. Müller-Pouillet, l. c., p. 526—527.

Schwingungsebene der das Prisma in der Axenrichtung durchlaufenden Lichstrahlen darstellt. Die Verbindungslinie der spitzen Ecken, die längere Diagonale, bestimmt die Polarisationsebene des Nicol.

Tritt ein Strahl gewöhnlichen Lichtes an einer der Endflächen des Nicol ein, so erscheint er an der anderen Endfläche als polarisirter Strahl. Lässt man diesen auf die untere Fläche eines zweiten, mit dem Polarisator in gleiche Axenrichtung gebrachten Nicol fallen, so geht er nur dann ohne wesentliche Aenderung seiner Schwingungen durch dieses zweite, als Analysator bezeichnete Prisma, wenn die Polarisationsebene dieses mit der des Polarisators zusammenfällt. Dreht man den Analysator um seine Axe, so dass die Polarisationsebene der beiden Nicols einen Winkel (α) mit einander bilden, so nimmt mit wachsendem Winkel die Helligkeit des austretenden Lichtes für das Intervall $\alpha = 0$ bis $\alpha = 90^0$ ab, es verliert an Intensität. Diese ist aber abhängig von der Schwingungsweite (Amplitude) der Lichtwellen. Die Abhängigkeit der Amplitude des den Analysator verlassenden Lichtes von dem Winkel der Polarisationsebenen stellt die untenstehende Skizze dar. Es sei $oa = A$ die Amplitude des senkrecht zur Polarisationsebene cd des Polarisators schwingenden Strahles, c′d′ die Polarisationsebene des Analysators, mithin a′b′ die Richtung der Schwingungsebene des austretenden Strahles, dann ist die Amplitude seiner Schwingungen die Projection $ox = A_1$ von oa auf a′b′. Es ist also:

$$A_1 = A \cos \alpha.$$



Sind die Polarisationsebenen von Polarisator und Analysator rechtwinklig gekreuzt, so ist die Amplitude

$$A_1 = 0,$$

d. h. es tritt gar kein Licht aus dem Analysator aus. Hat man unter dem Objecttisch des Mikroskopes den Polarisator angebracht und in das Ocular einen Analysator eingeschaltet[1]) und zwar so, dass die Axen der Nicols in die optische Axe des Mikroskopes fallen, so erscheint bei „gekreuzten Nicols" das Gesichtsfeld dunkel, nahezu schwarz[2]).

1) Nur ein solches Mikroskop trägt mit Recht den Namen Polarisationsmikroskop.

2) Bei meinen Untersuchungen orientirte ich aus Bequemlichkeitsrücksichten den Polarisator immer so, dass seine Polarisationsebene quer von rechts nach

Untersucht man den Gang der Lichtstrahlen durch eine zwischen die Nicols eingeschaltete, farblos durchsichtige, planparallele Platte aus einem nach allen Richtungen des Raumes hin gleiche Elasticität zeigenden, d. h. aus einem isotropen Körper, so bleiben die Erscheinungen ungeändert, das Gesichtsfeld bleibt bei rechtwinklig gekreuzten Nicols dunkel. Schaltet man dagegen senkrecht zur optischen Axe des Mikroskopes eine planparallele Platte aus einem doppelt brechenden Materiale ein, so kann bei gekreuzten Nicols das Gesichtsfeld aufgehellt werden, und zwar tritt dann, je nach der Dicke der Platte und je nach den specifischen Elasticitätsverhältnissen des Materiales eine bestimmte Farbe auf. In doppelt brechenden Körpern pflanzt sich nämlich, wie bekannt, eine von einem Punkte ausgehende Bewegung nicht nach allen Richtungen des Raumes hin gleich schnell fort. Man denke sich vielmehr den betreffenden Punkt als Mittelpunkt eines Ellipsoids. Stellt dann die grösste Axe desselben nach Richtung und Grösse die grösste, die kleinste Axe nach Richtung und Grösse die kleinste Fortpflanzungsgeschwindigkeit in dem Medium dar, so ist in jeder anderen Richtung die Fortpflanzungsgeschwindigkeit gegeben durch die Entfernung des Ellipsoidmittelpunktes von dem Schnittpunkte des in der betreffenden Richtung gezogenen Ellipsoiddurchmessers mit der Oberfläche des Ellipsoids. Das besprochene Ellipsoid, dessen Lage und Axenverhältnisse zu den specifischen Eigenschaften des betreffenden Körpers gehören, heisst das Elasticitätsellipsoid. Seine Axen sind die Elasticitätsaxen des Körpers.

Schneidet man eine planparallele Platte aus dem Körper aus, so kommt nur diejenige Ellipse optisch zur Geltung, in welcher das Elasticitätsellipsoid von einer in der Schnittrichtung durch den Mittelpunkt gelegten Ebene geschnitten wird. Man nennt diese Ellipse die wirksame Elasticitätsellipse[1]).

Fallen nun bei gekreuzten Nicols die Axen der wirksamen Elasticitätsellipse des eingeschalteten Plättchens in die Richtungen der Polarisationsebenen, eine Lage, welche als Orthogonalstellung des Plättchens bezeichnet wird, so bleibt das Gesichtsfeld nach wie vor

---

links vor mir herging; bei gekreuzten Nicols ging also die Polarisationsebene des Analysators gerade auf mich zu. Vergl. Taf. XVIII, Fig. 2.

1) Vergl. Nägeli und Schwendener: Das Mikroskop. 1. Aufl., p. 312, § 282.

dunkel. Halbiren aber die Axenrichtungen der wirksamen Elasticitätsellipse das orthogonale Kreuz der Polarisationsebenen, dann erscheint das Gesichtsfeld in einer bestimmten Farbe aufgehellt. Das Plättchen hat zu den Polarisationsebenen die sogenannte Diagonalstellung.

Die Farbe, welche das eingeschaltete Plättchen liefert, ist von der Dicke desselben und von der Excentricität der wirksamen Ellipse abhängig. Die Wirkung des Plättchens kann man als eine Verminderung der Wellenlänge des die Platte passirenden Lichtes auffassen. Wechselt die Wellenlänge, so wechselt aber die Farbe des Lichtes. Für die mikroskopische Praxis verwendet man fast ausschliesslich Gipsplättchen von bestimmter Dicke und bezeichnet dieselben nach der von ihnen bei gekreuzten Nicols in Diagonalstellung gelieferten Farbe unter Berücksichtigung der Newton'schen Scala der Interferenzfarben. Um dieselbe zur Anschauung zu bringen, verwendet man eine keilförmig geschliffene Gipsplatte (einen Gipskeil). Schaltet man die äusserste Scheide desselben in den Gang des Lichtes ein, so bleibt, immer gekreuzte Nicols und Diagonalstellung vorausgesetzt, des Gesichtsfeld dunkel. Schiebt man nun den Gipskeil unter Beibehaltung der Diagonalstellung seiner Elasticitätsaxen über das Gesichtsfeld, so erhält man entsprechend der Dickenzunahme des Keiles nach einander die Farben:

1. Grau.	7. Violett.	13. Purpurviolett.
2. Bläulichweiss.	8. Blau.	14. Blau.
3. Weiss.	9. Grün.	15. Grün.
4. Gelb.	10. Gelb.	16. Gelbgrün etc.
5. Orange.	11. Orange.	17. Fahlgelb.
6. Roth.	12. Roth.	18. Roth.

Beim Uebergang von einer dieser Farben zur nächsten lassen sich übrigens noch weitere Nuancen unterscheiden, auf welche es hier nicht ankommt. Die Farben der ersten Columne (1 bis 6) nennt man die Farben der 1. Ordnung, die der zweiten (7 bis 12) Farben der zweiten Ordnung u. s. f.[1]). Ein Gipsplättchen, welches eingeschaltet die Farbe Roth der ersten Ordnung (6) liefert, heisst schlechthin ein Gipsplättchen Roth I. Für die Untersuchung der

1) In der obigen Farbenreihe sich wiederholende Benennungen (Gelb, Orange, Roth) sind jedesmal nur bestimmte Nuancen der betreffenden Farbe.

Equisetetenscheiden verwandte ich fast ausschliesslich ein Gipsplättchen Roth II. Andere Plättchen wurden nur zur Sicherstellung der Resultate benutzt.

Schaltet man statt eines Plättchens zwei übereinander liegende in den Gang des Lichtes ein, so ist der Effect verschieden, je nachdem bei der Diagonalstellung der Plättchen die gleichnamigen oder die ungleichnamigen Axen der Elasticitätsellipsen sich decken. Im ersteren Falle wirken die beiden Platten wie eine einzige, deren Dicke der Summe der Dicken beider Platten gleichkommt; im letzteren Falle entspricht die Wirkung derjenigen einer Platte, deren Dicke gleich der Differenz der Dicken der angewandten Platten ist. Die bei der Summirung der Wirkungen auftretende Farbe heisst die Additionsfarbe, die bei der Subtraction der Wirkungen erscheinende Farbe heisst die Subtractionsfarbe. Beide Combinationsfarben lassen sich aus den oben gegebenen Farben sehr leicht ermitteln. Combinirt man beispielsweise Roth II mit Gelb I, so ergiebt die Additionslage der Plättchen Gelbgrün III, die Subtractionslage Blau II. Das praktische Hilfsmittel liegt in der Addition und Subtraction der Ordnungszahlen der gegebenen Farben; in dem gewählten Beispiel giebt $12 + 4 = 16$, $12 - 4 = 8$ [1]).

Für das Verständniss der nachfolgenden Untersuchungen ist es von besonderer Wichtigkeit zu wissen, dass auch isotrope Körper zu doppeltbrechenden gemacht werden können. Bei isotropen Körpern entspricht dem Elasticitätsellipsoide eine Kugel, der wirksamen Ellipse ein Kreis. Schneidet man eine bandförmige planparallele Platte aus einem solchen Körper aus und zieht dieselbe in die Länge, so rücken die Molecüle in der Zugrichtung etwas auseinander, der Durchmesser des „Elasticitätskreises“ wird daher in der Zugrichtung etwas länger, der auf der Zugrichtung senkrechte Durchmesser wird etwas kürzer, der Kreis geht in eine Elasticitätsellipse über, deren grosse Axe in die Zugrichtung fällt.

Diese Erscheinung liefert nun ein bequemes Mittel, um die grosse und kleine Axe eines zwischen gekreuzte Nicols in Diagonal-

1) Die eingehendere Erörterung über den Strahlengang des Lichtes im Gipsplättchen, besonders die Interferenz der nach den Axen der wirksamen Elasticitätsellipse zerlegten Lichtstrahlen wurde im obigen Abriss nicht ausführlich gegeben. Es ist dies Sache der physikalischen Lehrbücher.

stellung eingeschalteten Gipsplättchens zu bestimmen. Es seien in Fig. 2 auf Taf. XVIII ab und cd die Projectionen der Schwingungsebenen der polarisirten Strahlen (cd sei die Projection der Polarisationsebene des Polarisators), ein Gipsplättchen Roth II. O. finde sich in Diagonalstellung (welche aus der maximalen Intensität der Rothfärbung erkannt wird); dann kann die grosse Axe der Elasticitätsellipse des Gipsplättchens in die Richtung ef oder gh gefallen sein. Legt man nun einen Gelatinestreifen, welcher zunächst keine optische Reaction zeigt, in die Diagonalstellung ef und erscheinen, sobald man den Streifen in der Richtung ef auszieht, die auf Roth II folgenden Farben und Farbennuancen der III. Ordnung[1]), so müssen die gleichnamigen Axen der in der Fig. 2 blau gezeichneten Elasticitätsellipse des gezogenen Gelatinestreifens und der roth gezeichneten Elasticitätsellipse des Gipsplättchens über einander fallen, die Ellipsen sind gleich orientirt; ef enthält auch die grosse Axe des Gypsplättchens. Zur Sicherstellung des Resultats wird man dann den Versuch in der Art wiederholen, dass man den Gelatinestreifen in der Richtung gh zieht. Seine in der Figur 2 gelb gezeichnete Elasticitätsellipse findet sich dann zum Gipsplättchen in Subtractionsstellung; es muss also beim Ziehen die von Roth II absteigende Reihe der Farben II. Ordnung erscheinen[2]). Bei gleicher Spannung des Gelatinestreifens müssen Additions- und Subtractionsfarbe von Roth II aus gleich weit in der Farbenordnung entfernt sein. Giebt die Addition zu Roth II die Farbe Blau III $(8+2=10)$, so giebt die Subtraction $(8-2=6)$ die Farbe Gelb II. Ist nach diesen Versuchen das Gipsplättchen sicher orientirt, so hat man bezüglich desselben in ef die Additionsrichtung, in gh die Subtractionsrichtung[3]).

Nach diesen orientirenden Auseinandersetzungen gehe ich nun zum botanischen Theile dieses Abschnittes über.

---

1) Man sagt dann, die Farbe „steigt“.

2) In diesem Falle „fällt“ die Farbe.

3) Bei meinen Untersuchungen machte ich die Linien ab und cd durch die Orientirung des Fadenkreuzes im Oculare sichtbar. Ebenso entsprach bei allen meinen Versuchen die Orientirung des Gipsplättchens der Fig. 2 auf Taf. XVIII.

Die Anisotropie der vegetabilischen und thierischen Membranen ist seit dem Erscheinen der Arbeiten von H. v. Mohl[1]) und Valentin[2]) wiederholt Gegenstand scharfsinniger Untersuchungen geworden, besonders seit Nägeli im 3. Hefte seiner Beiträge zur wiss. Botanik „die Anwendung des Polarisationsmikroskopes auf die Untersuchung der organischen Elementartheile" behandelt hatte. Nägeli trat auf Grund seiner Beobachtungen zwar der älteren von Schulze[3]) aufgestellten Theorie, nach welcher die Anisotropie organischer Gebilde ausschliesslich ein Ausdruck in ihnen herrschender Spannungen sein sollte, entgegen und stellte bekanntlich die Theorie von den doppelt brechenden Micellen auf[4]). Die späteren Untersuchungen von N. J. C. Müller[5]), Wiesner[6]), Strasburger[7]), Fr. v. Höhnel[8]), V. v. Ebner[9]), besonders aber die neuesten Mittheilungen über den Gegenstand von A. Zimmermann[10]) machen es jedoch höchst wahrscheinlich, dass bei der optischen Reaction der Zellmembranen auch Spannungsverhältnisse eine bedeutende Rolle spielen können. [Vergl. auch Dippel[11])]. Ich darf es aber unterlassen, hier eine Kritik der bisher ausgesprochenen Auffassungen zusammenzustellen, umsomehr als erst in neuester Zeit eine Bearbeitung des Gegenstandes von berufenster Hand erschienen ist. Schwendener behandelt in seiner Arbeit „Ueber Quellung und Doppelbrechung vegetabilischer Membranen"[12]) die uns hier interessirende Cardinalfrage, ob die Anisotropie der vegetabilischen Zellmembranen der Micellarstructur oder Spannungsverhältnissen zugesprochen werden darf und kommt in

---

1) v. Mohl in Poggendorff's Ann. CVIII. 1859, S. 181 ff.

2) Die Untersuchung der Pflanzen- und Thiergewebe im polarisirten Licht. Leipzig, 1861.

3) Müller's Arch. für Anat. und Physiologie. 1861, p. 204.

4) Zuerst Sitzungsber. k. bayer. Ak. Wiss. 1862, p. 183 ff; vergl. auch Nägeli und Schwendener: Das Mikroskop. 1. u. 2. Aufl., p. 354 ff.

5) Bot. Unters. I, p. 132 ff.; auch Pringsh. Jahrb.; XVII, p. 1—44.

6) Elem. Anat. u. Phys. 1881, p. 260, Anm. zu 17.

7) Bau und Wachsthum der Zellhaut, 1882, p. 208 ff.

8) Bot. Ztg. 1882, No. 36 u. 37.

9) Unters. über die Anisotropie organ. Substanzen. Leipzig, 1882.

10) Molecular-physikal. Unters. I. Ber. Deutsch. Bot. Ges. I, 1883, p. 533 bis 540; II. ebenda, II. Bd., 1884, p. 124—129; III. ebenda, II. Bd., 1884, p. XXXV; vergl. auch Encyclop. d. Naturw., 20. Lief. des Handb. d. Botanik, p. 676—679.

11) Mikrosk. I. p. 927.

12) Sitzungsber. k. preuss. Ak. Wissensch. 1887, XXXIV, p. 659—702.

theilweiser Uebereinstimmung mit v. Ebner zu den Resultaten, „dass die Doppelbrechung von einer nach Richtungen verschiedener Anordnung der kleinsten Theilchen der Substanz bedingt sei" (l. c. p. 686). „Die nach Richtungen verschiedene Lagerung der kleinsten Theilchen kann nun bedingt sein in der chemischen Natur der Substanz selbst, oder von Spannungen, welche nicht in erster Linie von der chemischen Natur der Molecüle abhängen, oder endlich durch Wachsthums- und Differenzirungsvorgänge, deren Verlauf in den Einzelheiten noch wenig aufgeklärt ist. Dauernd bestehende moleculare Spannungen im Sinne v. Höhnel's und Strasburger's sind ausgeschlossen, nicht aber, wenn ich Schwendener's Ausführungen richtig verstehe, diejenigen Erscheinungen der Doppelbrechung, welche ein während der Entwickelungsperiode wirksam gewesener Zug verursacht hat. Ein solcher kann die Ursache davon sein, dass sich die kleinsten Theilchen einer Substanz mehr oder weniger in Längsreihen gruppirten, und ist diese Gruppirung bleibend geworden, so erscheint die Doppelbrechung als Effect wirksam gewesener, nicht mehr vorhandener Spannungsverhältnisse. Auf die Theorie der Doppelbrechung der vegetabilischen Membranen und der Ursachen derselben hier näher einzugehen, scheint dem Verf. nicht am Platze, es mag vielmehr der Hinweis auf die einschlägige Litteratur genügen; hier mag nur der Stand unserer derzeitigen Kenntniss, soweit sie Thatsachen betreffen, rekapitulirt werden.

Wir wissen, dass alle vegetabilischen Zellmembranen durch Anisotropie ausgezeichnet sind, dass selbst jugendliche Zellmembranen die optische Reaction, wenn auch nur sehr schwach, zeigen. Ferner wissen wir, dass die Elasticitätsaxen stets mit morphologisch definirbaren Richtungen zusammenfallen, und „zwar ist eine Axe stets genau radial gerichtet, so dass die beiden anderen in die Tangentialebene fallen, in der sie bald genau transversal und longitudinal, bald in schiefer Richtung verlaufen". Die radial gerichtete Axe ist in der weitaus grössten Zahl der Fälle die kleinste.

Die Untersuchung der Equisetenscheiden ergab nun folgende Resultate: Auf Quer- und Längsschnitten überzeugt man sich zunächst, dass bei gekreuzten Nicols und in Diagonalstellung eingeschaltetem Gipsplättchen Roth II eine beachtenswerthe optische Reaction nur den mechanisch wirksamen Elementen, d. h. den Zellen der inneren und äusseren Epidermis sowie den Bastfasern des Cari-

nalgewebes, zukommt. Die Reaction des „Füllgewebes“ ist so äusserst schwach, dass es für die weitere Betrachtung als isotrop angesehen werden kann. In der Additionslage nehmen die optisch wirksamen Elemente die Farbe Blau III. Ordnung, in der Subtractionslage Gelb II. Ordnung an. Dieselben Erscheinungen zeigen sich, wenn man die Scheiden von der Fläche aus betrachtet. Es fallen hier zwar die annähernd einander parallelen Epidermen der Aussen- und Innenwand der Scheide übereinander, da aber die Orientirung der Elasticitätsaxen der beiden Epidermen (auch bezüglich der Aussen- und Innenwand jeder einzelnen Epidermiszelle) auf jedem Stammradius dieselbe ist, so wird beim Flächenbilde der optische Effect einfach erhöht, die Wirkungen addiren sich.

Was nun die Lage der Elasticitätsellipsen der mechanisch wirksamen Scheidenzellen in der Oberfläche der Scheide anbetrifft, so wird dieselbe durch die Fig. 4 auf Taf. XVII leicht anschaulich werden. In den quergestreckten Ankerzellen fällt die grosse Axe der Elasticitätsellipse des in der Commissurmedianen liegenden Membranstückes mit der Querrichtung zur Commissur zusammen, die kleine Axe liegt in der Medianlinie der Commissur (Taf. XVII, Fig. 4 und 5). Nach den Enden der Ankerzelle hin neigt sich die grosse Axe der Ellipse so gegen die Medianlinie, dass sie der oberen und unteren Contourlinie der Ankerzelle parallel ist. Die rechte Hälfte der Ankerzelle verhält sich also auch optisch symmetrisch zur linken (Taf. XVII, Fig. 5 und 6). In den Kettenlinien fällt die Richtung der grossen Axe immer mit der Tangentialrichtung der Curve zusammen (vergl. Taf. XVII, Fig. 4), die grosse Axe der Elasticitätsellipse wird mithin um so steiler, je mehr sich diese der Carinalpartie der Scheidenzähne nähert. In den Zahnspitzen und in dem Carinalgewebe fällt die grosse Axe in die Längsrichtung des Zahnes und damit in die Längsrichtung des Organes. Die Elasticitätsellipse auf der Aussenwand und jeder ihr parallelen Wand der mechanischen Zellen der Carina erscheint also um 90° gegen die Elasticitätsellipse auf der Aussenwand und jeder ihr parallelen Wand in der Medianlinie gedreht. In den Curvenästen finden sich alle Zwischenlagen der Ellipse (Taf. XVII, Fig. 4).

Unterhalb des Curvensystemes, nach der Scheidenbasis hin, zeigen die hier längsgestreckten Epidermiszellen der Commissur die-

selbe Orientirung der Elasticitätsellipse wie die Epidermiszellen der mittleren Zahnlinie, der Carina. Ueberhaupt kann für alle mechanischen Elemente der Equisetenscheiden das Gesetz ausgesprochen werden, dass in den der Scheidenoberfläche angehörenden oder ihr parallelen Membranen die grosse Axe der Elasticitätsellipse in die Richtung der grössten Längsstreckung, mithin in die Richtung des bevorzugten Wachsthumes fällt.

Nach diesen Auseinandersetzungen würde es leicht sein, alle Farbenerscheinungen, welche die Equisetenscheiden im polarisirten Lichte zeigen, theoretisch abzuleiten. Dies hiesse aber den vom Verfasser befolgten Weg der Untersuchung umkehren. Jedenfalls dürfte es sich verlohnen, hier die Farbenerscheinungen, aus welchen die obigen Resultate auf deduktivem Wege gewonnen wurden, des Näheren zu besprechen.

Bringt man bei der durch Fig. 2 auf Taf. XVIII veranschaulichten Lage der Nicols und des Gipsplättchens Roth II die Scheide von Equisetum limosum so auf den Objecttisch, dass die Carinal- und damit die Commissurmediane in die Richtung der einen Polarisationsebene (etwa a b in Fig. 2, Taf. XVIII) fällt, so erhält man das durch seine Farbenpracht überraschende, in Fig. 3 auf Taf. XVIII wiedergegebene Bild. Es erscheinen alle längsgerichteten Epidermiszellen der Carina und des unteren Theiles der Commissur schön roth; ebenso erscheint die Medianlinie der Commissur, die Mitten aller Ankerzellen durchsetzend, als ein intensiv rother Faden, welcher die Commissuralcurven geradezu scheitelt. Ueberall entspricht die Rothfärbung in der Scheide dem Roth II des Gipsplättchens und erweist an den betreffenden Stellen die Coïncidenz der Axen der wirksamen Elasticitätsellipse mit den Projectionen a b und c d der Polarisationsebenen der gekreuzten Nicols.

Alle Curvenäste, welche von der roth erscheinenden Commissurmedianlinie aus nach der einen Seite hin verlaufen, zeigen die von Roth II aufsteigenden Nuancen der Interferenzfarben von Purpurviolett III. O. bis zum Blau III und darüber hinaus bis in's Blaugrünliche. Hier fallen die grossen Axen der Elasticitätsellipsen mehr oder minder genau in die Additionsrichtung (e f der Fig. 2 auf Taf. XVIII). Die von der Medianlinie der Commissur aus nach der anderen Seite (in der Fig. 3 auf Taf. XVIII nach links) aufsteigenden

Curvenäste zeigen alle von Roth II aus absteigenden Nuancen der Interferenzfarben vom Orange II bis zum Gelb II und darunter bis in's Gelblichgrüne II. Alle Ankerzellen zeigen eine dreifache Färbung (vergl. Taf. XVIII, Fig. 6 und zur Erläuterung der Thatsache die Fig. 5 auf Taf. XVII); ihre mittlere Partie, der Medianlinie der Commissur angehörend, erscheint roth, die in die Additionsrichtung fallende Seite blau- resp. purpurviolett, ihre in die Subtractionsrichtung fallende Seite gelb resp. orange.

Dreht man das Object um die verticale Axe (am besten durch Drehen der gut centrirten Platte des Objecttisches) bis die Carinalrichtung und damit die Medianlinie der Commissur in die Richtung der Diagonale (ef) des „Additionsquadranten“ (bezüglich des Fadenkreuzes) fällt, d. h. dreht man das Object um 45° nach der Additionslage hin, so erscheint das nicht minder prächtige Farbenbild der Fig. 4 auf Taf. XVIII. Die Carinalpartie, in welcher sich mechanische Epidermis und Bastfaserbündel in gleicher Orientirung ihrer Elasticitätsaxen übereinanderlagern, zeigt die Additionsfarbe Blaugrün III. O., alle längsgerichteten Epidermiszellen der Carina und der unteren Commissuralpartie leuchten in der Farbe Blau III. O. Die Elemente der Curvenäste erscheinen beiderseits von der Commissurmediane in den Uebergangsfarben von Roth II zu Purpurviolett, Violett, Blau bis event. Blaugrün der III. Ordnung. Besondere Beachtung verdienen auch bei dieser Lage des Objectes die Ankerzellen. Ihre mittlere Partie erscheint intensiv in Gelb II. O., die beiden nach den Curvenästen sich hinneigenden Enden erscheinen in Roth II. O. (vergl. die Fig. 7 auf Taf. XVIII). In ihrer Gesammtheit liefern die Ankerzellen auch in diesem Falle eine scharf ausgeprägte Mittellinie des Commissurcurvensystemes. Es erscheint durch eine scharf hervorstechende gelbe Linie gescheitelt, welche beiderseits von einem rothen Saume eingefasst ist (vergl. Taf. XVIII, Fig. 4).

Dreht man das Object in der vorhin eingeschlagenen Drehungsrichtung um weitere 45°, so fallen die Carinallinien und die Commissurmediane in die Richtung der Polarisationsebene (cd) des zweiten Nicol. Das Farbenbild der Scheide ist dann wesentlich dasselbe wie in Fig. 3 auf Taf. XVIII. Die Commissurallinie, in Roth II leuchtend, scheitelt auch hier das Curvensystem so, dass die Curvenäste der einen Seite in Blau resp. den von Roth aufsteigenden Nuancen, die

der anderen Seite in Gelb resp. den von Roth absteigenden Nuancen der Interferenzfarben erscheinen. Der in Fig. 3 auf Taf. XVIII rechts liegende, im Ganzen blaue Theil der Commissur liegt aber nun nach links (resp. oben, wenn man die Gesammtdrehung von 90° auf die Fig. 3 überträgt), der in Fig. 3 Taf. XVIII links liegende gelbe Theil liegt jetzt nach rechts (resp. unten), Die dreifache Färbung der Ankerzellen veranschaulicht Fig. 8 auf Taf. XVIII.

Die Drehung des Objectes um weitere 45° (im Sinne der früheren Drehungsrichtung vollzogen) liefert das in Fig. 5 auf Taf. XVIII gegebene Farbenbild. Die Carinallinien fallen in die Richtung der Diagonale (gh) des „Subtractionsquadranten" (bezüglich des durch ab und cd dargestellten Fadenkreuzes), sie erscheinen in der Farbe Grüngelb II. O. Alle in der Diagonalrichtung gh gestreckten Epidermiszellen rechts und links von der Carinalrichtung und alle Zellen unterhalb des Curvensystemes der Commissur leuchten in Gelb II. Die Aeste der Commissuralcurven erscheinen zu beiden Seiten der Medianlinie in gleicher Weise symmetrisch nuancirt in den von Roth II zu Gelb II abfallenden Interferenzfarben. Die Ankerzellen markiren die Diagonalrichtung gh besonders auffällig durch die scharf hervorleuchtende Färbung der Commissurmediane in Blau III. Die blaue Linie scheitelt wieder in elegantester Weise das System der Commissuralcurven. Jede einzelne Ankerzelle liefert das in Fig. 9 auf Taf. XVIII gegebene Bild, aus welchem ersichtlich wird, dass die blaue Medianlinie beiderseits roth gesäumt erscheinen muss.

Bei den weiteren Drehungen um je 45° erhält man keine neuen Bilder mehr. Es wiederholen sich die Farbenbilder in derselben Folge, in welcher sie hier besprochen wurden, es ändert sich nur die Orientirung der Farben für den Beschauer. Es erhellt dies schon zur Genüge aus der Fig. 5 und 6 auf Taf. XVII, welche die Lage derselben Ankerzellen in zwei um 180° verschiedenen Stellungen schematisch wiedergeben.

Wer sich den Genuss der Betrachtung der ausserordentlich schönen Scheidenfärbungen verschaffen will, dem empfehle ich bei der besprochenen Einstellung der polarisirenden Apparate (Nicols und Gipsplättchen) bei schwacher Objectivvergrösserung[1]) den Mittel-

1) Ich wählte Seibert's Objectiv I.

punkt des Fadenkreuzes mit der Mitte einer der Commissurlinien zur Deckung zu bringen, so dass die hier liegende Ankerzelle genau in der durch Fig. 6 auf Taf. XVIII bezeichneten Lage befindlich ist. Ist dann der drehbare Objecttisch genau centrirt, so liefert die Drehung desselben um 360° alle möglichen Bilder; es erscheinen die vier Bilder Fig. 6, 7, 8 und 9 der Taf. XVIII an einer und derselben Ankerzelle, deren Mittelpunkt sich mit dem Schnittpunkte des Fadenkreuzes deckt.

Eine Störung erleiden die optischen Erscheinungen, wie auch aus meinen Figuren ersichtlich ist, an den Zahnspitzen und längs der Randcurve zwischen je zwei Zähnen. Es wird dies aus dem Vergleich der mit diffusem Tageslichte durchleuchteten, in Fig. 1 auf Taf. XVIII gezeichneten Scheide verständlich. Die mehr oder minder tiefbraune (bis kastanienbraune) Eigenfarbe aller abgestorbenen Zellen lässt die Nuancirungen der Farben im polarisirten Lichte nicht deutlich kenntlich werden, obwohl dieselben zweifellos vorhanden sind. Man vergleiche die Färbungen der Seitenränder an einzelnen Stellen der äussersten Zahnspitzen in den Fig. 3, 4 und 5 auf Taf. XVIII.

Es soll übrigens nicht der Hinweis unterlassen werden, dass die optische Reaction der Equisetenscheiden auch ohne Einschaltung des Gipsplättchens eclatant deutlich wird. Alle Zellmembranen, deren wirksame Axen in die Richtung der Polarisationsebenen fallen, welche sich also in Orthogonalstellung befinden, erscheinen schwarz, alle in Diagonalstellung befindlichen Membranen und Membranstücke hellen das dunkle Gesichtsfeld in der Farbe Bläulichweiss I. O. auf[1]). Membranen in Zwischenlagen erscheinen bläulichgrau bis grauschwarz. Insbesondere machen sich die Medianlinien der Commissuren als scharfe Linien auffallend bemerkbar. Fällt die Commissurlinie in die Richtung einer der Polarisationsebenen, so scheitelt sie das commissurale Curvensystem als tiefschwarze Linie, fällt sie in die Diagonalrichtung, so scheitelt sie das Curvensystem als scharf contrastirende helle Linie.

Die im Vorstehenden besprochenen Farbenerscheinungen wurden an den fertigen Scheiden von Equisetum limosum studirt. Es musste nun ferner von Interesse sein festzustellen, wie weit sich

1) Daher geben die Membranen in der Additionslage zu Roth II die Interferenzfarbe Blau III. Ordn. $(12 + 2 = 14)$, in der Subtractionslage Gelb II Ordn. $(12 - 2 = 10)$. Siehe die Farbentabelle auf S. 541.

dieselben Erscheinungen auch bei jüngeren Scheiden in der Stammknospe verfolgen lassen. Es stellte sich dabei heraus, dass von den 11 eingeschalteten Scheiden einer Stammknospe die optische Reaction bei fünf von der Aussenscheide umhüllten, jüngeren Scheiden in der besprochenen Weise sich zeigte, doch nahm die Intensität der Farbenerscheinungen von aussen nach innen schrittweise ab. Die zweite und dritte Scheide (von aussen gezählt) zeigten die Farbenreaction fast noch eben so schön wie die äusserste Scheide, die vierte Scheide zeigte sie schon bedeutend schwächer, noch schwächer die fünfte; die sechste Scheide zeigte die Reaction erst spurenhaft, während die noch jüngeren, meristematischen Scheiden mit dem Gipsplättchen Roth II beobachtet, keinen merklichen Einfluss auf das polarisirte Licht ausübten. Die zu beobachtende, von den jüngeren nach den älteren Scheiden zunehmende Intensität der Reaction legt aber die Wahrscheinlichkeit nahe, dass eine minimale Reaction auch den jüngsten meristematischen Scheiden zukommt, an welchen die Zahnbildung eben anhebt, es reichen aber unsere optischen Hilfsmittel, namentlich die beschränkte Capacität unserer Gesichtsempfindung, zu solchem Nachweise nicht mehr aus.

Wie bei Equisetum limosum verhalten sich übrigens auch die Scheiden der oberirdischen Sprosse aller deutschen Equiseten, welche ich bisher untersucht habe. In einigen Fällen liefert sogar die Untersuchung im polarisirten Lichte ein bequemes Mittel, um die Lage der unter gewissen Verhältnissen versteckt liegenden Ankerzellen zu ermitteln. Wie später näher erläutert werden soll, liegen nämlich bisweilen die Ankerzellen unter dem Niveau der Scheidenaussenfläche in der Valecularfurche der Scheide eingesenkt und entziehen sich bei der gewöhnlichen Beleuchtung dem Auge des Beobachters. Bringt man solche Scheiden nun in das durch das Gipsplättchen aufgehellte Gesichtsfeld des Polarisationsmikroskopes, so springt die Commissurmediane in geradezu überraschender Schärfe in dem farbigen Bilde der Scheide hervor.

Was lehren nun diese Untersuchungen der Equisetenscheiden im polarisirten Lichte? Zunächst stellen die Farbenerscheinungen das von uns vorweg mitgetheilte Resultat bezüglich der Orientirung der wirksamen Elasticitätsellipsen in dem Flächenbilde der Commissuralcurven in allen seinen Einzelheiten sicher. Ferner beweist uns aber

die Anordnung der Ellipsen, und darauf läuft die Untersuchung gerade hinaus, dass die Curvensysteme in den Commissuren sich in der That so verhalten, als ob sie in dem von uns besprochenen Sinne auf Zug in Anspruch genommen worden sind, keineswegs aber auf Druckwirkungen schliessen lassen. Wäre es absolut sicher, dass die Anisotropie allein durch moleculare Spannungen erzeugt wird, eine Ansicht, welche mit guten Gründen neben der Hypothese von den doppelt brechenden Micellen mehr und mehr Anhänger gewinnt, so wäre damit unser mechanisches Problem betreffs der Entstehung und der Bedeutung der commissuralen Curvensysteme fast ebenso absolut sicher gelöst. Es fehlte dazu nur noch die Bestimmung der Excentricität der wirksamen Elasticitätsellipsen resp. die Bestimmung der relativen Werthe der Elasticitätsaxen. Nach der Farbenreaction zu urtheilen ist die Excentricität der Elasticitätsellipse in allen Punkten der Scheidenoberfläche annähernd dieselbe, denn alle Oberhautzellen zeigen auf Querschnitten annähernd die gleiche Dicke ihrer Aussenwände und liefern in der Additionslage im Flächenbilde die Farbe Blau III. Ordn., in der Subtractionslage Gelb II. Ordn., und, soweit es unsere Sinnesempfindung zu unterscheiden vermag, jedesmal dieselbe Nuance der betreffenden Farbe. Eine Ausnahme machen nur die in der Nähe des Scheitels der Randcurve liegenden Commissuralelemente, hier wird die kleine Axe der wirksamen Ellipse der grossen annähernd gleich, die betreffenden Elemente nähern sich mehr dem Typus isotroper Gebilde, wie man es auch aus den Bildern (Fig. 3—5 auf Taf. XVIII) erkennen wird.

Nach diesen Bemerkungen wird man aus der Fig. 4 auf Taf. XVII fast unmittelbar die Anschauung gewinnen, dass eine ganze Reihe von theoretischen Erörterungen über die Vertheilung der Spannungen in einem Systeme parabelähnlicher Curven, specieller von Kettenlinien, wie sie im IV. Abschnitte dieser Arbeit besprochen wurden, durch den optischen Befund bestätigt werden. Doch mag dies noch specieller erwiesen werden.

Nehmen wir an, dass die Farbenreaction der Membranen in dem vorliegenden Falle auf wirksam gewesene (aber nicht mehr bestehende) Spannungsverhältnisse gedeutet werden darf, so zeigt die Orientirung der Elasticitätsellipsen in Fig. 4 auf Taf. XVII, dass die Elemente der Ankerreihe os, wie es die Theorie verlangte, das

Minimum der Längsspannung und das Maximum der Querspannung, die Elemente der Carinallinien ab und a′b′ dagegen das Maximum der Längsspannung uud das Minimum der Querspannung aufweisen, denn es ist zweifellos, dass die grosse Axe der Elasticitätsellipse in gespannten Membranen nach Richtung und relativer Grösse mit den spannenden Kräften in Einklang steht. Wir dürfen sogar annehmen, dass die relative Länge der grossen Axe der Zugkraft proportional angesehen werden kann. Nennen wir die halbe grosse Axe der Elasticitätsellipse a, die halbe kleine Axe b, und nehmen wir zugleich an, dass die Halbaxen nach Richtung und Grösse die Resultirenden aller auf den Mittelpunkt der Ellipse wirkenden Kräfte darstellen, welche sich natürlich das Gleichgewicht halten, so lässt die Fig. 4 auf Taf. XVII folgende Discussion zu:

Es sei die Linie aa′ die x = Axe, die Commissurmediane os die y = Axe eines rechtwinkligen Coordinatensystemes. Der Winkel, welchen die grosse Axe der Elasticitätsellipse im Punkte xy mit der Ordinatenrichtung bildet, sei α (vergl. Taf. XVII, Fig. 7). Es lassen sich dann die den Punkt xy afficirenden Kräfte a und b (welche in der Coordinatenebene wirkend zu denken sind), wie aus Fig. 7 ersichtlich ist, nach den Coordinatenrichtungen in acht Componenten zerlegen, welche sich selbstverständlich wieder das Gleichgewicht halten. Die in derselben Richtung der y = Axe wirkenden Kräfte repräsentiren dann die in der früher besprochenen Theorie als Längsspannung, die in derselben Richtung der x = Axe wirkenden Kräfte repräsentiren die als Querspannung bezeichnete Componente der Tangentialspannung der Kettenlinie im Punkte xy. Nennen wir diese Componenten L_{xy} und Q_{xy}, so ist unmittelbar die Abhängigkeit ersichtlich:

$$(1) \quad L_{xy} = a \cos \alpha + b \sin \alpha,$$

$$(2) \quad Q_{xy} = a \sin \alpha + b \cos \alpha.$$

Für den Specialfall $\alpha = R$ wird

$$L_{xy} = b,$$
$$Q_{xy} = a.$$

Er wird repräsentirt durch die Ellipsen der Commissuralmediane os. Für den Specialfall $\alpha = o$ wird:

$$L_{xy} = a,$$
$$Q_{xy} = b.$$

Er wird realisirt durch die Ellipsen der Carinallinien ab und a'b'.

Verfolgt man die Elasticitätsellipsen einer der y = Axe parallelen Linie xz, so ändert, wie aus der Fig. 4 auf Taf. XVII ersichtlich ist, der Winkel α von O (an der Scheidenbasis) bis zu einem Maximalwerthe, welcher aber kleiner als R ist (er ist abhängig von der Lage des Punktes z am Scheidenrande). Die Aenderung ist um so unbedeutender, je weiter xz von os abrückt. Mit α ändern aber auch die Werthe L_{xy} und Q_{xy} nach den Gleichungen (1) und (2).

Dabei ist aber hervorzuheben, dass die Grössenveränderung des L_{xy} für gleichbleibende x keine beträchtliche sein kann. Es wächst nämlich in der Gleichung (1) mit wachsendem Winkel α der zweite Summand b sin α, während der erste Summand a cos α gleichzeitig abnimmt. Für alle Fälle, wo die Linie xz also nicht der Linie os sehr nahe liegt, wo α also überhaupt nur sehr wenig schwankt, bleibt der Werth der Summe nahezu ungeändert, d. h. es herrschte auf solcher Längslinie nahezu an allen Punkten die gleiche Längsspannung, wie es unsere Theorie erforderte.

Vergleicht man die Reihe der Elasticitätsellipsen, welche in einer Transversallinie, etwa in yy' in der Fig. 4 auf Taf. XVII, liegen, so lehrt schon der Augenschein, dass die als Querspannung bezeichneten Componenten beträchtlich schwanken, nämlich von dem Maximalwerthe a in der Commissurmediane bis zu dem Minimalwerthe b in der Carinallinie. Wie sich die Schwankung in dem Intervall von a bis b vollzieht, lehrt die Gleichung (2) und die aus der Fig. 4 auf Taf. XVII ersichtliche Aenderung des Winkels α, welcher von dem Werthe $\alpha = R$ in der Commissurmediane bis zu 0 in den Carinallinien abnimmt. In der Gleichung (2) nimmt also mit wachsendem x der erste Summand continuirlich ab, der zweite continuirlich zu, wegen des grossen Schwankungsintervalles für α compensiren sich aber Abnahme und Zunahme der Summanden nicht, wie aus den Endwerthen a und b ersichtlich ist. Auch diesss Resultat der optischen Untersuchung stimmt mit unseren theoretischen Auseinandersetzungen und den von der Anschauung getragenen Postulaten überein.

Wären die Commissuralcurven ganz reine Kettenlinien eines solchen Systemes, wie es früher erörtert wurde, dann müssten sich

aus der optischen Untersuchung mit aller Schärfe die Facten wiedererkennen lassen, dass in allen Punkten einer Längslinie xz (einer Parallelen zu os) die Längsspannung L_{xy} absolut dieselbe gewesen ist und dass für jede Kettenlinie die Querspannung einen constanten Werth hatte. Das wäre aber zugleich mit der Nothwendigkeit verknüpft, dass die Tangentialspannung in allen Punkten eines Astes der Kettenlinie eine andere ist. Es könnten dann also die Axen der Elasticitätsellipsen nicht in allen Punkten der Scheidenfläche als unveränderlich angenommen werden, wie es in der vorhergehenden Erörterung geschehen ist. In Wirklichkeit ist ja diese Annahme auch nicht für alle Punkte der Equisetenscheide gerechtfertigt, denn es wurde schon oben bemerkt, dass in der Region der Randcurve, vornehmlich in der Nähe der Commissurmediane, die Excentricität der Elasticitätsellipsen sich mehr und mehr verliert, dass die Grösse b mehr und mehr der Grösse a gleich wird. Für den oberen Theil derjenigen Längslinien xz, welche der Medianen os genähert sind, nimmt also zwar der Summand $a \cos \alpha$ wegen des hier beträchtlicheren Werthes von α stärker ab, der Summand $b \sin \alpha$ nimmt aber aus doppeltem Grunde zu. Das für grössere α geringe Wachsen des sin wird in Rücksicht auf das rapidere Abnehmen des cos durch das Wachsen von b jedenfalls soweit gefördert, dass auch hier der Werth von L_{xy} in allen Punkten der Linie xz annähernd derselbe ist. Also selbst in diesem Punkte stimmt die Untersuchung der Scheiden im polarisirten Lichte mit den unabhängig von ihr gewonnenen Resultaten auf's Schönste überein.

Als Resumé der optischen Untersuchung kann jedenfalls die Behauptung aufgestellt werden, dass sie keinem der früher besprochenen Resultate Einschränkungen auferlegte, sie hat dieselben vielmehr in ungeahnter und geradezu überraschender Weise bestätigt[1]. Vor der Hand kann natürlich dem optischen Befunde nicht weitere Beweiskraft beigemessen werden, als der ganzen Methode und der sich daran anküpfenden Theorie zugesprochen werden darf. Jedenfalls aber hat die Richtigkeit unserer Speculation über

---

1) Ich hebe ausdrücklich hervor, dass die optische Untersuchung erst in Angriff genommen wurde, nachdem die übrigen Theile des Manuskriptes dieser Arbeit fertig gestellt waren.

die Entstehung und die Bedeutung der commissuralen Curvensysteme der Equisetenscheiden so sehr durch die optische Untersuchung an Wahrscheinlichkeit gewonnen, dass sie vor der Hand jeder anderen Deutung den Rang streitig machen dürfte.

Endlich will ich noch auf einen Punkt der früheren Erörterungen zurückkommen. Es wurde schon oben lediglich zur Förderung der Anschauung auf einen Versuch mit einer gezogenen Kautschukplatte verwiesen. Es kann hier hinzugefügt werden, dass eine solche nicht nur die Form der Equisetenscheide zwischen je zwei Carinallinien zur Darstellung bringt, sie giebt auch die für die Equisetenscheiden so äusserst charakteristische optische Reaction, freilich nicht (aus naheliegenden Gründen) in so überraschender Farbenpracht, doch immerhin in unverkennbarer Weise und mit völliger Uebereinstimmung des Principiellen. Es dürfte auf Grund dieser Thatsache das Experiment doch einen höheren Werth als den eines lediglich der Anschauung dienenden Vergleiches beanspruchen. Doch soll auf diesen Punkt keinerlei Gewicht gelegt werden.

Ich schliesse damit diesen Abschnitt der Arbeit, um mich weiteren Betrachtungen der Equisetenscheiden zuzuwenden.

VIII. Die Querschnitte durch die Scheidencommissuren der Equiseten.

Vergleicht man die Flächenansichten der Scheiden der verschiedenen Equisetenarten unter einander, so wird man nicht bei jeder derselben die Curvenanordnung in den Commissuren so deutlich beobachten können wie bei Equisetum limosum. Es wird diese Thatsache aus der Betrachtung der Querschnittsbilder verständlich werden.

Aehnlich wie bei Equisetum limosum zeigt der Querschnitt durch den oberen Theil der Commissur dicht unterhalb der Basis der Scheidenzähne bei Equisetum arvense, palustre und silvaticum, wenigstens bei den oberirdischen Organen die Ankerzellen als quergestreckte, etwas bogig gekrümmte, starkwandige Zellen.

Ihre Concavität entspricht der sehr seichten Valecularfurche der Scheide dieser Arten. Nach rechts und links schliessen sich die nur $^{1}/_{3}$ bis $^{1}/_{4}$ so breiten starkwandigen Epidermiszellen der Aussenseite der Scheide an (Taf. XIX, Fig. 1 und 2). Diese fungiren wie die Ankerzellen als mechanische Elemente. Die subepidermalen Gewebeelemente sind jenen gegenüber zartwandig zu nennen, auch die Zellen der inneren Epidermis sind als dünnwandig zu bezeichnen. Zwischen der Ankerzelle und der darunter hinweg ziehenden Epidermis ist entweder gar keine Zwischenschicht vorhanden (so am oberen Scheidenrande), oder es schiebt sich eine solche ein, welche dann zunächst eine zweite Reihe von Ankerzellen nachahmt. Doch sind diese Zellen immerhin zarter als die frei nach aussen liegende, der äusseren Epidermis angehörende Ankerzelle. Mehr nach dem Scheidengrunde zu treten zwischen der Ankerzelle und der inneren Epidermis die Querschnitte mehrerer subepidermalen Zellen, welche einer Schicht angehören, auf, oder es schieben sich wohl noch mehr Schichten zwischen Ankerzelle und innere Epidermis ein, bis endlich die Ankerzellen kürzer und kürzer werden, um endlich (entsprechend dem Flächenbilde) ganz zu verschwinden.

Bei anderen Arten, wie bei Equisetum littorale und elongatum ist die Valecularfurche etwas tiefer und dementsprechend auf dem Querschnitte deutlicher ausgeprägt. Was aber besonders bemerkt werden muss, es wölben sich die den Ankerzellen unmittelbar benachbarten Epidermiszellen der Aussenseite über die Ankerzellen mehr oder minder weit hinweg, es wächst der rechte und linke Rand der Ankerzelle in das subepidermale Gewebe hinein. Es bleibt aber nur ein Drittel ihrer Aussenseite als Basis der Valecularfurche frei. Bei Equisetum elongatum schwillt ausserdem noch jedes Ende der Ankerzelle ein wenig an. Noch ausgesprochener findet sich diese Form der Ankerzelle bei Equisetum variegatum wieder. Hier ist eine deutliche Valecularfurche vorhanden, welche die Commissur zwischen je zwei Zähnen äusserlich darstellt. Die Seitenränder fallen auf dem Querschnitte ziemlich steil gegen die Aussenwand der Ankerzelle ab, wie etwa die Ränder eines tief eingeschnittenen Hohlweges, dessen Böschungen von den angeschwollenen Enden der Ankerzellen getragen werden. Die concave Krümmung der Ankerzelle ist aber immer noch eine sehr

schwache zu nennen. Die unter der Ankerzelle liegende subepidermale Zelle, wenn eine solche überhaupt auf dem Schnitte vorhanden ist, ist zwar auch quergedehnt, doch ist sie sichtlich weniger fest. Viel fester erscheinen die engen Zellen der inneren Epidermis mit ihren stark verdickten Wänden.

Einen Schritt weiter geht Equisetum Telmateja in der Ausbildung seiner Ankerzellen. Auch hier schneidet die Valecularfurche auf dem Querschnitte wie ein Hohlweg in das Gewebe der Scheide ein, der Hohlweg ist aber bedeutend tiefer als bei Equisetum variegatum. Seine steilen Böschungen werden auch hier von den angeschwollenen Enden der Ankerzelle getragen. Diese ist zugleich derartig nierenförmig gekrümmt, dass ihre Concavität als eine plötzliche Erweiterung der Sohle des Hohlweges erscheint; seine Böschungen sind gleichsam unterminirt. Dabei ist noch zu bemerken, dass die engste Stelle jeder Ankerzelle da zu suchen ist, wo sich die angeschwollenen Enden an das Mittelstück ansetzen, dessen Aussenwand sich ein wenig, aber deutlich nach aussen hin (gegen die Sohle des Hohlweges) vorwölbt. Diese beiden engsten Stellen der Ankerzelle, welche auch bei allen anderen Equisetenarten das Anschwellen der seitlichen Enden begleiten, sind, nach der Wandstärke zu urtheilen, auch die schwächsten. Wird von innen her auf die Ankerzelle ein Druck ausgeübt, etwa senkrecht zur inneren Epidermis, so muss diese und damit die ganze Scheide in tangentialer Richtung gedehnt werden. Das Maass der Dehnung geht aus der bekannten Formel hervor:

$$\text{Tangentialspannung} = \frac{\text{Radialdruck}}{\text{Radius.}}$$

Es treten dabei die Böschungen der Thalfurche naturgemäss ein wenig auseinander, die Krümmung der nierenförmigen Ankerzellen wird eine geringere, es werden die kopfig-kolbigen Enden derselben etwas von einander entfernt werden. Da nun bei dem Verschiebungsprocess die Böschungswinkel geändert werden müssen, so erscheint es vortheilhaft, dass das Widerlager, auf dem die Böschung ruht, ein wenig federnd nachgiebt. Die engsten Stellen der Ankerzellen wirken deshalb bei der Bewegung wie ein Charniergelenk. Die unter der Ankerzelle liegende, quergestreckte Zelle, zum Theil auch die

Epidermiszelle der inneren Scheidenwand, bildet dabei ein Polster, auf welchem die convexe Seite der Ankerzelle ruht.

Einen ähnlichen, nur etwas modificirten Bau finden wir in der Commissur der Scheiden von Equisetum trachyodon A. Br. wieder. Die Ankerzelle ist auch hier nierenförmig gestaltet, doch so, dass das mittlere Stück relativ flach und in querer Richtung stark gestreckt erscheint. Die kolbig angeschwollenen Enden setzen sich mit scharfer Krümmung des Charniergelenkes als seitliche Stücke an. Sie tragen aber die Böschungen des Thales nicht auf ihrem Scheitel; hier liegen vielmehr subepidermale Sclerenchymzellen auf. Um wieder das Bild zu gebrauchen, es ist hier der Hohlweg zu einer tief eingeschnittenen Schlucht geworden, welche von fast senkrechten Wänden aus ausserordentlich starken Zellen rechts und links gebildet wird. Die Schlucht kann dabei bis zu einem engen Spalte werden. Die untersten Zellen der senkrechten Wände sind die der Ankerzelle benachbarten Epidermiszellen; sie haben sich über die kopfigen Enden der Ankerzelle hinweggeschoben und ruhen nun mit ihrem unteren Wandstücke auf dem mittleren Theil der Ankerzelle. Diese bildet also gleichsam das Fundament, auf welchem die Wände der Valecularschlucht ruhen. Im Uebrigen ist die Ankerzelle ringsum von ausserordentlich starken Sclerenchymzellen umgeben, wie denn überhaupt die Scheide von Equisetum trachyodon den festesten Bau zeigt, welcher unter allen Equisetenscheiden beobachtet wurde. Es setzt sich nämlich von dem Sclerenchymgewebe, welches die ganze Commissur aufbaut, unter der inneren und äusseren Epidermis ein ausserordentlich kräftiger Sclerenchymbelag fort, so dass das zartwandige Gewebe jedes Scheidentheiles (Blattes) auf eine mitten im Sclerenchym liegende Insel dünnwandigen Carinalgewebes beschränkt ist, in welchem auch das schwache, ebenfalls aus zartwandigen Elementen aufgebaute Bündel des Scheidenzahnes eingebettet ist. Auch die Epidermis der Scheidenaussenseite ist bei Equisetum trachyodon als mechanisches Gewebe entwickelt.

Die exquisiteste Form der Ankerzellen bieten jedoch die Scheiden von Equisetum hiemale dar. Hier ist die Valecularfurche scheinbar ganz und gar verschwunden. Es treten nämlich die Böschungen des Hohlweges oder die Wände der Schlucht, wie ich vorhin bildlich

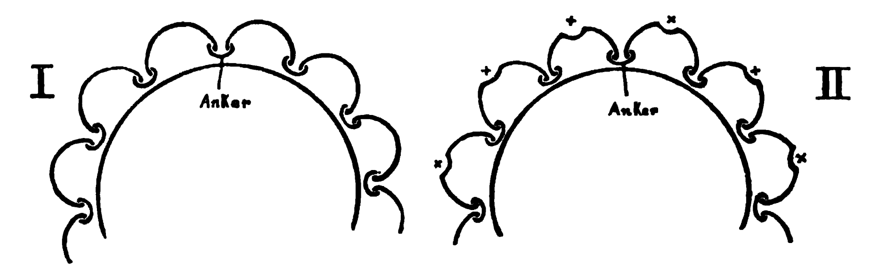
sagte, bis zur vollständigen Berührung aneinander. Das Oberflächenbild (Fig. 6 auf Taf. XIX) lässt daher nur eine Spaltlinie statt der Valecularfurche erkennen (die Linien aa′ und bb′). Es ist dabei interessant zu beobachten, wie genau Hervorwölbungen und Vertiefungen der sich aneinander legenden Valecularwände mit einander correspondiren. Die Spaltlinie weist eine Verzahnung von ganz derselben Art auf, wie wir die Verzahnung der Längswände der gestreckten Epidermiszellen der Gräser, Carices — und nicht zu vergessen — der Equisetenscheiden kennen gelernt haben. Die Ankerzellen sind durch diese ganze Anordnung scheinbar tief in den Gewebekörper der Scheidencommissur eingebettet, wie es Fig. 12 auf Taf. XVII von einer noch ganz jungen Scheide, einer der innersten der geschlossenen Stammknospe, Taf. XX, Fig. 5, von einer ausgebildeten Scheide darstellt. Die angeschwollenen Enden jeder Ankerzelle greifen dabei in höchst eigenthümlicher Weise um die beiden mit ihnen in Contact stehenden Epidermiszellen herum. Die Ankerzelle erinnert hier geradezu an die Form eines zweiarmigen Schiffsankers, welcher mit widerhakenähnlichem Fortsatz jederseits in die entsprechende Epidermiszelle hineinragt. Bei diesen Ankerzellen sind denn auch die Charniergelenke deutlicher, als sie irgend wo anders aufgefunden werden können. Im Uebrigen zeichnet sich die Ankerzelle wie die sämmtlichen Zellen der äusseren Epidermis durch starke Verdickung ihrer Wände aus. Die Verdickung kommt selbst den die „Valecularspalte“ begrenzenden Zellen zu.

Die Form der beiden von der Ankerzelle umgriffenen Epidermiszellen correspondirt natürlich in gewissem Sinne mit der der Ankerzelle, jede zeigt für sich betrachtet etwa die Form eines Schaftstiefels, dessen Fusstheil von dem Ankerhaken umspannt wird. Die beiden Stiefelzellen wenden ihre Fusstheile nach entgegengesetzten Richtungen hin. Da wo der Fusstheil in den Schafttheil übergeht, ist die engste und schwächste Stelle der Epidermiszelle zu erkennen; auch diese Stelle ist als eine Art Charniergelenk zu deuten. Die ganze Gelenkung wird nun noch besonders gefestigt durch Verdickungsleisten und Membranfalten, welche senkrecht von der Valecularspalte ausgehend nach den kopfigen Enden der Ankerzellen hinführen. Solche hier auffällig zahlreich auftretende Membranfalten sind auch sonst den Epidermiszellen der Equiseten nicht fremd.

Auf ihre mechanische Bedeutung ist schon von anderer Seite ausführlich eingegangen worden[1]).

Wie nun die auf dem Querschnitte sichtbare Verankerung der Scheidentheile bei Equisetum hiemale fungirt, dürfte schon zur Genüge aus den obigen Darlegungen ersichtlich sein, doch mag hier noch die Gesammtwirkung aller Ankerzellen eines ganzen Scheidenquerschnittes durch eine schematische Wiedergabe eines solchen veranschaulicht werden.

Es fungiren auf jedem Querschnitte wesentlich nur die Ankerzellen und die mechanische Epidermis der Aussenseite der Scheide. Nimmt man die Epidermis je eines Scheidenabschnittes (Blattes) als einen dehnungsfähigen Bogen an, so stehen alle Bögen an ihrem



Auflager durch je einen Anker paarweise in Verbindung, der Anker legt sich wie eine Kramme um die Bogenenden herum, wie es das Schema I resp. Fig. 10 auf Taf. XVII zeigt. Genauer würde das bei Equisetum hiemale zu beobachtende Schema der verankerten Bogenreihe mit dem Schema II resp. Fig. 11 auf Taf. XVII wiedergegeben sein. Man sieht, dass die (durch ein Kreuz bezeichneten) Scheitel der Bogen eingedrückt sind. Im Principe stimmen aber beide Schemata mit einer Wellblechconstruction überein. In dem zweiten Schema hat zwar jeder Bogen zwischen zwei Ankern seine Steifigkeit als Ganzes verloren, am Scheitel ist eine Schwächung insofern eingetreten, als die beiden bis zu den Ankern reichenden Bogenstücke in der Ebene der Zeichnung gegeneinander verschiebbar werden, die Einsenkung am Scheitel dient hierbei wieder als ein Charnier für

1) Man vergleiche besonders Ambronn: Ueber Bau und Function des pflanzlichen Hautgewebesystemes. Pringsh. Jahrb. XIV, 1884, p. 92, woselbst die Membranfaltungen als dreiseitige Träger besprochen werden.

die sich rechts und links anschliessenden Bogenstücke. Diese Charniergelenkung ist aber körperlich eine Canellirung des Carinalgewebes, welche ein Einknicken der Scheide sicherlich erschwert. Der Festigkeitsverlust in der einen Richtung ist also ein Festigungsgewinn für die andere und beide Festigungsmodi stehen mit dem Principe der Zweckmässigkeit in schönster Harmonie.

Die federnde Bewegung der Ankerzellen und die Thätigkeit des Charniergelenkes ist nämlich keineswegs nur als eine baare Speculation aufzufassen. Es lassen sich jene Functionsleistungen mit Leichtigkeit an den Querschnitten durch die Scheiden von Equisetum hiemale nachweisen. Nicht nur die vollständigen Querschnitte, sondern auch Theile solcher, etwa von der Form der Schemata I und II, ja selbst Stücke, welche nur eine Valecularspalte und damit nur eine Ankerzelle (wie etwa Fig. 5 auf Taf. XX) führen, nehmen bei jeder beliebigen Dicke des Schnittes immer diejenige Lage an, in welcher die Valecularfurche auf eine Linie reducirt ist (wie es Fig. 12 auf Taf. XVII und Fig. 6 auf Taf. XIX zeigt). Zerrt man mit Hülfe von Präparirnadeln die Querschnitte so, dass die von der Ankerzelle gebildete Kramme sich aufbiegt, dass also statt der Valecularlinie ein spitzwinkliger Spalt auftritt, so schnellen die Scheidentheile sofort in die normale Lage zurück, der Valecularspalt wird wieder zur geraden Linie, ein Beweis für die federnde Thätigkeit der Ankerzellen. Wenn nun auch in der Natur eine derartig weitgehende Inanspruchnahme der Ankerzellen ausgeschlossen ist, so sind doch geringe Schwankungen in der Grösse des auf die Innenseite der Scheiden wirkenden Radialdruckes zweifellos vorhanden. Zunächst wächst der Radialdruck, so lange das betreffende supravaginale Internodium in die Dicke wächst (vergl. S. 502); dann aber ändert sich die Krümmung der Ankerzellen mit Nothwendigkeit, wenn die Scheide einseitig an ihrem Rande gezerrt wird, etwa bei einseitigem Ueberneigen des vom Winde bewegten, hin und herschwankenden Schaftes. Ich werde übrigens auf die Krümmung der Ankerzellen in einem der nächsten Abschnitte noch zurückkommen. Hier genügt es, auf die gemeinsamen Züge im Bau der Commissuren, besonders der Ankerzellen, wie sie sich auf Querschnitten zeigen, hingewiesen zu haben, Wir haben es in allen Fällen mit Variationen eines und desselben Typus zu thun, dessen Extreme in den von

Equisetum limosum und arvense einerseits und den von Equisetum hiemale andererseits gelieferten Bildern liegen (vergl. Fig. 1 und 2 auf Taf. XIX und Fig. 5 auf Taf. XX).

IX. Die Entwickelungsgeschichte der Ankerzellen bei Equisetum hiemale.

Die aussergewöhnliche, gegen das umliegende Gewebe so scharf contrastirende Gestalt der Ankerzellen in den Scheiden von Equisetum hiemale machte den Wunsch, ihre Entwickelungsgeschichte kennen zu lernen, rege. Ich verfolgte dieselbe auf successiven Querschnitten durch Stammknospen, und ich will nicht anstehen, die nach dieser Richtung hin erzielten Resultate hier kurz zusammenzufassen. Die Darstellung wird dabei nicht unwesentlich durch die entwickelungsgeschichtlichen Bilder (Taf. XX, Fig. 1—5) unterstützt werden.

Schneidet man die ganz jugendliche, meristematische Scheide dicht unter ihrem oberen Rande, an welchem eben die Zähne zur Entwickelung gelangen, so markiren sich die einzelnen Scheidentheile (Blätter) durch die buchtige Aussencontour. An den Commissuren sinkt die Mächtigkeit des Gewebes auf zwei Zellschichten herab, von denen die eine die innere Epidermis der Scheide constituirt. Der Commissur gehören etwa 2 oder 3, auch wohl 4 Zellen an, welche durch Einschalten antikliner Wände aus einer oder zwei oberflächlichen Meristemzellen hervorgegangen sind. Ueber ihnen liegt eine einzige voluminöse, etwa sechseckige Zelle, welche der nach aussen gewandten Scheidenoberfläche angehört. In ihr erkennen wir die Anlage der Ankerzelle. Die Contactwand mit den Zellen der inneren Epidermis ist fast gerade, sie ist die längste Seite des sechsseitigen Umrisses (Taf. XX, Fig. 1). Die ihr gegenüberliegende Aussenwand der Ankerzelle ist höchstens $^1/_2$ oder $^1/_3$ so lang als jene längste Seite. Rechts und links liegen Meristemzellen an, in welchen perikline und antikline Theilungen in ungefähr gleicher Zahl mit einander wechseln. Dabei wölben sich die der jungen Ankerzelle anliegenden beiden oberflächlichen Zellen etwas über die Aussenwand der Ankerzelle vor. Diese Ueberwölbung wird stärker und stärker, es schiebt

sich wohl eine antikline Wand ein, welcher bei starker Streckung der Tochterzellen eine perikline Wand folgt u. s. f. Durch diese Theilungen wird die Ueberwölbung der Ankerzelle mehr und mehr perfect (Taf. XX, Fig. 2). Endlich berühren sich die von rechts und links sich über die Ankerzelle hinwegschiebenden Zellen und drücken sich gegeneinander flach. Nun nimmt das Gewebe der Scheide an Mächtigkeit in den Carinalpartien zu, die Ueberwölbung schreitet fort, so dass sich bald das nächste Paar der oberflächlichen Zellen der Aussenseite berührt (Taf. XX, Fig. 3) und so fort. So hat sich nun mit der Bildung der Valecularfurche dieselbe zugleich auf einen fast verschwindenden Spalt reducirt. Bis dahin hat sich aber die Ankerzelle nicht wesentlich verändert. Sie hebt sich immer noch durch ihre Grösse von den sie umgebenden Elementen ab. Ihre Aussenwand und die hierzu parallele Innenwand sind jetzt fast gleich lang, sie lassen bei flüchtiger Betrachtung den Umriss der Ankerzelle fast rechteckig quergestreckt erscheinen (Taf. XX, Fig. 2). Unter ihr treten jetzt auch wohl Zellen auf welche entweder Derivate der Zellen der Innenfläche der Scheide sind und durch perikline Theilungen von ihnen abgeschieden wurden, oder es wird auch wohl von der jungen Ankerzelle eine quergestreckte Zelle durch Einschalten einer periklinen Wand abgeschnitten. Diese Zwillingsschwester der Ankerzelle schneidet wiederum entweder nur ihre Endstücke durch antikline Wände ab und bildet dann die Polsterzelle unter der Ankerzelle, oder es entstehen noch weitere antikline Wände, so dass die ursprüngliche Mutterzelle in ihrem Umrisse nicht mehr mit Sicherheit erkannt werden kann. Zuletzt erst bildet sich jederseits das kopfige Ende der Ankerzelle aus und umgreift allmählich die über ihr sich schon lange berührenden Epidermiszellen, bis endlich die Ankerform definitiv herausgemodelt ist (Taf. XX, Fig. 4). Dann erst tritt die charakteristische Verdickung in der Commissur und in den Wänden der Epidermiszellen der Aussenfläche der Scheide allmählich hervor, und wir erhalten endlich das Bild der fertigen Verankerung (Taf. XX, Fig. 5), in welchem der trügerische Anschein erweckt wird, als läge die Ankerzelle tief im Innern eines geschlossenen Gewebecomplexes.

Der Zellkern bleibt bei allen diesen Entwickelungsphasen wesentlich in gleicher Stellung. Auf den für die Abbildungen benutzten

Schnitten[1]) waren alle Zellkerne in situ erhalten. Die junge Ankerzelle zeichnet sich vor ihren Nachbarinnen entsprechend ihrer Grösse durch einen umfangreichen Zellkern aus, welcher in mehr oder minder elliptischer Form sich der quergestreckten Form der Zelle anpasst. Beginnt aber die Krümmung der Enden der Ankerzelle sichtbar zu werden, so findet man den Zellkern ausnahmslos der Aussenwand der Ankerzelle anliegend, zugleich nimmt er mehr und mehr spindelförmige Gestalt an. Die spitzen Enden erstrecken sich bis in die Charniergegend der Ankerzelle. In dieser Lage finden wir den Zellkern in den ältesten Ankerzellen wieder vor, immer liegt er der Aussenwand derselben eng angeschmiegt (vergl. Taf. XX, Fig. 4 und 5).

Es mag hier noch eine Bemerkung Platz finden, welche mit der Entwickelungsgeschichte in Zusammenhang steht. Ich habe oben absichtlich den Ausdruck Dermatogen für die meristematischen Epidermiszellen vermieden, weil die Unterscheidung der drei Haustein'schen Histiogene für die Equisetenstammspitzen bekanntlich zur Unmöglichkeit wird[2]). Auch im Meristem der Scheiden tritt keine deutliche Sonderung ein, abgesehen von der durch die topographischen Verhältnisse bedingten, oder wo es sich um die Ausgestaltung bestimmter Elemente für bestimmte physiologische Functionen handelt. Die Scheidenkante wird bekanntlich durch eine Reihe von Zellen eingenommen, welche durch abwechselnd geneigte Wände Segmente nach Art einer zweischneidigen Scheitelzelle absondern. Die Segmente fallen abwechselnd nach vorn und hinten bezüglich der Stammaxe, also nach aussen und innen bezüglich der Scheide. Auf dem Querschnitte durch die meristematische Scheide erkennt man daher die Derivate je einer Initiale der Scheidenkante als eine Zellreihe, welche von der Innenseite bis zur Aussenseite continuirlich zu verfolgen ist. Ich habe einige solcher Reihen neben

---

1) Dieselben wurden mit dem „rocking microtome" der Cambridge scientific society hergestellt, um dieses Instrument auf seine Brauchbarkeit zu prüfen. Die Schnitte wurden vorzüglich.

2) Hofmeister spricht (l. c. p. 89 ff.) nur von „oberflächlich gelegenen Tochterzellen", welche durch „wiederholte Theilung der Zellen des Umfangs" entstehen. Reess spricht l. c. von „Aussenzellen und Innenzellen des Vegetationskegels".

der rechts gezeichneten Commissur in Fig. 1 auf Taf. XX durch die Pfeilrichtungen 1 bis 4 angedeutet. Man wird dabei leicht erkennen, dass die oberste Zelle der Reihe 1 durch eine antikline Wand in zwei Tochterzellen zerfallen ist, die Reihe also hier zur Doppelreihe wird. Von den Schwesterzellen hat sich die rechts gelegene bereits zu einer periklinen Theilung angeschickt, welche durch die eingetretene Zellkerntheilung markirt ist. Solche perikline Theilung ist in dem nach links folgenden Zellenpaare perfect geworden. Ueberaus deutliche Reihenanordnung derselben Art zeigen auch gewisse Partien alter, ausgewachsener Scheiden. Man vergleiche besonders die Figuren 3 und 7 auf Taf. XIX. In der ersteren treten die ungestört verlaufenden Reihen der Carinalpartien, in der letzteren die Reihen in der Commissur der Scheide besonders deutlich hervor.

In den Medianen der Scheidencommissur bleibt die Zahl der Zellen einer Reihe, wie aus der früheren Darstellung hervorgeht, zumeist auf zwei beschränkt, die nach vorn fallende Tochterzelle der Initiale der Commissurmediane wird zur Ankerzelle, die nach hinten fallende ist die Initiale für die unter der Ankerzelle liegende Gruppe der inneren Epidermiszellen.

Nach dieser Abschweifung will ich auf die Ausgangsbetrachtungen zurückkommen.

X. Die Correlation zwischen der Krümmung der Ankerzellen und der Tiefe der Vallecularfurche zwischen den Scheidenzähnen.

Es wurde schon an früherer Stelle erwähnt, dass die Curvenanordnung in der Scheidencommissur nicht bei allen Arten gleich fasslich zu Tage tritt. Jetzt wird diese Angabe verständlich erscheinen, wenn ich auf die verschiedene Bildung der Vallecularfurchen verweise. Sind diese nur einigermaassen tief eingeschnitten, so wird man die Curven bei der in die Ebene des Gesichtsfeldes ausgebreiteten Scheide gar nicht mehr zu Gesicht bringen können, weil ja die Curvenäste in ihrem längeren Verlaufe auf der Böschung des Thales liegen. Noch schwieriger wird das Erkennen der Curven,

wenn die Ankerzellen nierenförmig gekrümmt sind, wie bei Equisetum Telmateja und trachyodon, oder wenn gar die Flächen, auf welchen die Curvenäste liegen, geradezu senkrecht gegen die Ankerreihe in der Commissurlinie aufsteigen, wie bei Equisetum hiemale. In solchen Fällen müssen Radialschnitte (bezüglich des Stammes) zu Hilfe genommen werden, auf welchen man die Curvenanordnung in der That wiederfindet. Bei der Betrachtung derartiger Scheiden von der Fläche aus sieht man die Ankerzellen wie eine Leiter von quergestreckten Zellen im Grunde der Valecularfurche durchscheinen [1]).

Ob die Ankerzelle auf dem Querschnitte sehr flach oder mehr oder minder stark nierenförmig gekrümmt erscheint, dürfte von verschiedenen Ursachen abhängig sein, zunächst davon, ob die betreffenden Scheiden frühzeitig auf das Maximum ihrer Weite gedehnt werden oder nicht, ferner von der Festigkeit und Dehnbarkeit der Zellmembranen bei den verschiedenen Equisetenarten, denn es muss die Spannung selbst eine gewisse absolute Grösse erreichen, ehe das Einreissen der Scheidencommissur eintritt. Nachträgliche Zelltheilungsvorgänge, welche die Spannung zwischen den Scheidenzähnen zum Ausgleich bringen könnten, sind nach meinen Beobachtungen völlig ausgeschlossen. Es wird hiernach wahrscheinlich, dass die Krümmung der Ankerzellen proportional ist der Dehnbarkeit der Scheidenzellen, aber umgekehrt proportional der tangentialen Spannung, welcher die Scheiden beim Durchtritt der Stammknospe ausgesetzt sind.

Dieser Erklärungsversuch würde durch diejenigen Fälle gestützt sein, in welchen trichterförmige oder weit abstehende Scheiden vorhanden sind. Es entsprechen ihm die Bilder, welche die Ankerzellen der Scheiden von Equisetum arvense, silvaticum und palustre, auch wohl variegatum liefern. Aber auch für die Scheiden von Equisetum Telmateja, trachyodon und hiemale ist jene Erörterung zulässig. Hier liegen die Scheiden dem Stamme mehr oder weniger eng an, und dementsprechend finde ich hier die Ankerzellen nierenförmig gekrümmt, am stärksten bei

1) Dass man die versteckt liegenden Ankerzellen im Polarisationsmikroskop leicht zur Ansicht bringen kann, wurde bereits oben besprochen.

Equisetum hiemale, wo sich die Scheiden dem Internodium am engsten und festesten anschmiegen. Eine scheinbare Ausnahme bilden die Scheiden von Equisetum limosum. Wir finden hier die Scheiden wie bei Equisetum hiemale dem Internodium eng anliegend, und doch sind die Ankerzellen bei ihnen fast völlig flach ausgebreitet, eine Valecularfurche ist kaum angedeutet. Das Habitusbild der Sprossspitze von Equisetum limosum (Taf. XVI, Fig. 7 und 8) und noch mehr der radiale Längsschnitt durch eine solche machen es aber evident, dass die Dickenzunahme der Internodien in unmittelbarer Nähe des Scheitels beträchtlicher ist, als bei allen anderen Equisetenspecies[1]). Da nun das radiale Wachsthum nach der auf S. 558 angeführten bekannten Formel den Werth der Tangentialspannung bedingt, dieser aber nach unserer Annahme die Krümmung der Ankerzellen entspricht, so steht auch die scheinbare Ausnahme der Scheiden von Equisetum limosum unserem Erklärungsversuche nicht entgegen. Wie dem nun aber auch sei, es ist nicht unwahrscheinlich, dass auch die Dicke des Carinalgewebes gegenüber dem in der Commissurmediane gewöhnlich nur zwei Schichten dicken Gewebe bei den Krümmungsverhältnissen in's Gewicht fällt. Wodurch aber die verschiedene Mächtigkeit der Carinal-

---

1) Nach einer nach Abschluss des Manuskriptes angestellten Beobachtung vom 22. Mai d. J. enden die im ersten Frühjahr erscheinenden oberirdischen Sprosse von Equisetum limosum mit viel schlankerer Spitze als die älteren Sprosse am Ende des Frühjahres. Das Dickenwachsthum ist aber nicht minder beträchtlich, nur findet es unter Umständen eben nicht schon am Scheitel statt, sondern an den tieferen Internodien, wo die Scheiden sicherlich nicht mehr im lebhaften Wachstume sind. An einem besonders kräftigen Exemplare stellte ich folgende Maasse fest:

Jüngstes Internodium (Stammknospe bis zur ersten cylindrischen Scheide) 1,5 mm, 2. Internodium (nächst älteres) 2 mm, 4. Internodium 2,5 mm, 5. 3 mm, 6. 3,4 mm, 7. 4 mm, 8. 4,5 mm, 12. 5 mm, 14. 6 mm, 16. 6,5 mm, 17. 7 mm dick.

Die Dicke der Internodien schwankte also zwischen 1,5 und 7 mm, der ganze Schaft erschien also deutlich conisch. Dabei war bemerkenswerth, dass die Internodien 1—7, von der Spitze aus abwärts gerechnet, deutliche Valecularfurchen zeigten, welche sich auch auf die Scheiden fortsetzten. An den folgenden, älteren Internodien waren die Valecularfurchen zum Theil noch andeutungsweise vorhanden, an den untersten Internodien, welche einen Durchmesser von 5—7 mm zeigten, waren die Valeculae ganz verschwunden, die Scheiden waren völlig glatt, die Commissuren und ihre Curvensysteme lagen völlig frei, gleichsam straff ausgespannt dem Stammumfange angeschmiegt.

gewebe von vornherein inducirt wird, liegt nicht in dem Bereiche der Erklärungsmöglichkeit.

Lassen wir aber selbst jeden Erklärungsversuch für die Krümmung der Ankerzellen wegen seiner Unvollkommenheit ausser Acht, so bleibt doch das Factum der Correlation zwischen der Tiefe der Valecularfurche und der Krümmung der Ankerzellen sowie der relativen Aufweitung der Scheiden bestehen. Sehen wir von dem Falle des Equisetum limosum ab, so darf auch die Thatsache constatirt werden, dass gerade in den Fällen, in welchen die Ankerzellen ihre typischste Form, die der nierenförmigen Krammen annehmen, wie bei Equisetum Telmateja, elongatum, trachyodon und hiemale, die Scheiden ihre zweite Function, den Schutz des an der Basis intercalar fortwachsenden Internodienstückes auszuüben haben. Sachs betont ausdrücklich in der zweiten Auflage seiner „Vorlesungen über Pflanzenphysiologie“ (1887, p. 411) dieses basale Wachsthum der Internodien, welches „ganz besonders deutlich ausgesprochen ist bei den Schachtelhalmen (Equiseten), unter denen besonders das Equisetum hiemale dadurch ausgezeichnet ist, dass es die Internodien Jahr für Jahr von unten her aus der älteren Blattscheide um ein Stück herausschiebt“.

Im Anschluss an diese Erörterungen mag noch eine Thatsache registrirt werden.

Der specielle Theil unserer Auseinandersetzungen über den Bau der Commissuren der Equisetenscheiden bezieht sich, wie ich hervorhob, zunächst nur auf die oberirdischen Scheiden der Equiseten resp. auf die Scheiden der aufsteigenden Sprosse. Es frägt sich nun, ob die Rhizomscheiden in allen Punkten ihres Baues jenen Scheiden gleichen. Ich habe diese Frage bisher nur für Equisetum hiemale entscheiden können. Es hat sich dabei herausgestellt, dass die Rhizomscheide von der Scheide der oberirdischen Sprosse wesentlich verschieden sein kann. Die Rhizomscheide von Equisetum hiemale zeigt kaum eine Andeutung einer Valecularfurche, auch kaum entwickelte Sclerenchymelemente. Zwischen je zwei Carinalstreifen, über welche die Epidermiszellen in längsgestreckten geradlinigen Reihen sich hinziehen, liegt ein Zwischengewebe aus fast gleichartigen quergestreckten Zellen, ohne dass die Mittelreihe derselben allein die Ankerform aufweist (vergl. Fig. 7 auf Taf. XIX).

Während also der Querspannung bei den oberirdischen Scheiden dieser Art von den einzelnen Ankerzellen in der Commissurlinie das Gleichgewicht gehalten wird, tritt hier an deren Stelle das ganze intercarinale Gewebe ein. Der Dimorphismus der Scheiden ist also ein ausgesprochener, er hängt zweifellos mit dem Dimorphismus der Internodien zusammen, auf welchen schon an früherer Stelle ausdrücklich hingewiesen wurde.

Dass die verschiedenen biologischen Verhältnisse, unter denen Rhizom und oberirdischer Spross vegetiren, noch weitere Differenzen im Baue der Organe bedingen, kann nicht verwundern. So mag hier beiläufig erwähnt werden, dass nur die oberirdischen Scheiden (wenigstens von Equisetum hiemale) zur Assimilationsthätigkeit herangezogen werden. Man findet der Anordnung des chlorophyllführenden Gewebes in ihnen entsprechend jederseits neben der Carinalpartie eine, zwei bis drei Reihen von Spaltöffnungen mit der bekannten, längsgerichteten Spalte. Die Scheide der Rhizome assimilirt nicht, ihr fehlt das chlorophyllführende Gewebe und dementsprechend finden wir sie völlig spaltöffnungslos. Wie sich die unterirdischen Scheiden unserer übrigen Equisetenarten verhalten, vermag ich vor der Hand nicht zu entscheiden, da mir das geeignete Material zur Untersuchung fehlte.

XI. Vergleichende Ausblicke.

Es könnte nunmehr, nachdem wir den Bau der Commissuren ausführlich für die Equiseten unserer heimischen Flora betrachtet haben, von Interesse sein, auch die fossilen Equisetaceen in den Kreis der Beobachtung zu ziehen. Leider ist die vergleichende Betrachtung aussichtslos, sofern wir den anatomischen Bau der vergleichenden Beobachtung unterwerfen wollen. Es ist den Phytopalaeontologen bekannt, dass die Equisetaceen der palaeolithischen Periode die Calamiten, getrennte, wirtelig angeordnete, vom Stamme abstehende Blätter hatten, dem Habitus nach also unserem bescheidenen Hippuris zu vergleichen wären. Ein Verwachsen der Blätter zu geschlossenen Scheiden wäre auch bei ihnen kaum vortheil-

haft gewesen, denn den Calamiten kam ein dauerndes und ausserordentlich ergiebiges Dickenwachsthum (auch ihrer Bündel) zu [1]. Die Function eines Schutzes der Basis der Internodien kann aber schwerlich einer geschlossenen Scheide mit begrenztem Wachsthume überwiesen werden, wenn das Dickenwachsthum anhält. Analoge Fälle sind uns wenigstens nicht bekannt. Die Blätter der Calamiten dürften in erster Linie Assimilationsorgane dargestellt haben. Die Verwachsung zu Scheiden vollzog sich erst in viel jüngeren Epochen. Andeutungsweise ist sie erst vorhanden bei Equisetites Münsteri, welches der mesolithischen Periode (in dieser dem sogenannten Rhät) angehört. Leider sind uns von dieser Form nur Abdrücke überliefert, während die Pflanzen selbst durch Verwesung untergegangen sind. In der kaenolithischen Periode fehlen aber die Equisetaceen fast vollständig. Es wird hier nur ein Equisetum aus dem Diluvium angegeben, welches mit dem recenten Equisetum limosum für identisch erklärt worden ist. Die Untersuchung desselben dürfte jedenfalls kaum etwas Neues bieten.

Viel aussichtsvoller gestaltet sich aber die Vergleichung solcher Scheidengebilde, welche denen der Equisetaceen schon nach exomorphen Charakteren ähnlich sind. Ich meine die Scheiden der Gattung Casuarina. Ich habe bisher nur eine Species derselben, die Casuarina Fraseriana zu untersuchen Gelegenheit genommen und fand hier eine Festigung der Commissuren, welche im Principe mit der Festigung der Equisetumscheiden übereinstimmt, in der Ausführung aber wesentlich davon abweicht.

Auf dem Flächenbilde der Scheide von Casuarina Fraseriana erscheinen unter der Epidermis der Scheidenaussenseite Zellen mit deutlich bogiger Anordnung, etwa wie die Ankerzellen bei Equisetum limosum. Auch sie nehmen in querer Richtung gemessen von dem Spaltwinkel zwischen je zwei Zähnen nach der Scheidenbasis hin an Länge ab, um endlich ganz und gar zu verschwinden. Auf Querschnitten durch die Scheidenbasis findet man zwischen der inneren und der äusseren Epidermis in der Scheiden-

1) Herr Dr. Potonié hatte die Freundlichkeit, mir Calamitenschliffe aus der Sammlung der kgl. geologischen Landesanstalt zur Ansicht vorzulegen. Dieselben erweisen das Dickenwachsthum der Calamiten als ein dem Dickenwachsthum der Coniferen vergleichbares.

commissur mehrere Schichten eines parenchymatischen Füllgewebes aus zartwandigen Elementen. Schneidet man aber in der Region der quergerichteten „Ankerzellen", so findet man den ganzen Raum der Commissur zwischen den Epidermisflächen von Zellen mit ausserordentlich verdickten, stark lichtbrechenden Wandungen erfüllt. Wir haben es hier mit englumigen Bastzellen (Sclerenchymzellen) zu thun, welche ein quer vor den Einschnitt der Commissur gelagertes, der Commissur angehörendes Bündel darstellen. Die Epidermis ist auf keiner der Scheidenseiten in die Sclerose hineingezogen. Ihre Zellen sind, wie auch sonst auf der Scheide, dünnwandig; auf dem Flächenbilde erscheinen sie auch über das quere Bastbündel hinwegziehend in Längsreihen gerordnet. An der Scheidenkante geht die Epidermis der Aussenfläche der Scheide continuirlich in die Epidermis der Innenfläche über, wie etwa die Epidermen von der Blattunterseite und der Blattoberseite normaler Spreiten am Blattrande in einander übergehen. Die Casuarina-Scheide lässt also keinerlei Einreissen an der Commissur zwischen den Scheidenzähnen beobachten. Die letzteren sitzen auch der geschlossenen Scheidenbasis anders auf wie die Zähne der Equisetenscheiden auf diesen. Die Zähne der Casuarinascheide sitzen nämlich als gleichschenklig-dreieckige Gebilde dem Scheidenrande so auf, dass ihre Basen sich nicht gegenseitig berühren, es bleibt vielmehr zwischen je zwei Zähnen ein fast geradliniger Zwischenraum der Commissur erhalten, entsprechend dem Bilde: _Λ_Λ_Λ_. Es kann daher kein Zweifel obwalten, dass die Scheidenzähne der Casuarina von ihrer ersten Bildung an getrennt neben einander stehen, ohne dass sie durch eine verbindende Zwischenhaut vereinigt sind, welche, wie bei den Equisetenscheiden, beim Durchtritt der austreibenden Knospe durch die jeweilig äusserste Scheide zum Zerreissen gebracht wird. Um aber die über dem Scheitel des Sprosses zusammenneigenden Zähne doch in gewissem Sinne zu consolidiren und den Zutritt den Scheitel gefährdender Agentien zu hindern, bilden sich an den Rändern der Zähne Trichome aus, welche durch ihre auffallenden Formen ausgezeichnet sind. Sie dienen der Stammknospe zum Schutze, wie etwa die Spreuschuppen dem jugendlichen Gewebe der Farnwedel. Jedes Trichom stellt nämlich ein racemös verzweigtes Haar dar, dessen Aeste sämmtlich in einer Ebene liegen, welche mit der Ebene des

Zahnes zusammenfällt. Genauer gesprochen schmiegt sich das Haar mit seinen Verzweigungen der gekrümmten Organoberfläche an, wie es die Zahnflächen ja auch thun. Die Seitenäste des Haares stehen dabei fast senkrecht von der Axe des Haares ab; sie sind etwas wellig contourirt, ihre Spitze ist oft hakenförmig oder scharf rechtwinklig herabgebogen. Endlich erscheint jedes Haar (auch seine Aeste) in der Richtung der Verzweigungsebene stark abgeplattet, man könnte es also mit einem von Frank für gewisse Keimschläuche parasitischer Pilze eingeführten Ausdruck als ein Appressorium bezeichnen.

Es geht aus diesen Darstellungen hervor, dass die Casuarina-Scheide principiell darin mit der Equisetum-Scheide übereinstimmt, dass in beiden Fällen die Commissur durch in querer Richtung an ihrem gefährdeten Rande sich vorlagernde Elemente einen Schutz gegen das Einreissen erlangt. Nur erleidet die Ausführung der Schutzvorrichtung eine Variation. Während bei den Equiseten die Verankerung durch das Curvensystem der Epidermiszellen bewerkstelligt ist, bleibt die Epidermis der Casuarinascheide unbeeinflusst, während das zwischen den Epidermen liegende Füllgewebe die mechanische Function übernimmt und zum quergerichteten Bastbündel wird. Dieses verhindert von vornherein jedes Einreissen, während die Ankerzellen der Equisetenscheiden einem bereits begonnenen und unumgänglich nothwendigen Einreissen ein Ziel setzen.

Es mag vor der Hand genügen, diesen einen Fall der Casuarina Fraseriana in Erwägung gezogen zu haben. Eine vergleichende Untersuchung der Casuarinenscheiden möchte ich einer späteren Bearbeitung vorbehalten. Dagegen empfiehlt es sich, auf die Festigungsverhältnisse der Commissuren bei verwachsenen, gleichartigen Blüthenorganen zurückzukommen, auf welche Vorkommnisse ich in der Einleitung zu diesem Aufsatze hinwies. Ich greife hier nur einen Fall von gamopetalen Blumenkronen heraus, um wenigstens auch bezüglich dieser das Principielle in unserer Frage berührt zu haben.

Ich habe schon darauf hingewiesen, dass bei Kelchen und Kronen die Commissuren in der Regel durch die Nervatur gegen Einreissen geschützt sine. Die Bündel haben hier, wie es mir scheint, öfter als irgend wo anders die zweifache Function leitender

und zugleich mechanischer Elemente[1]). Die Commissur ist dabei entweder durch ein in ihrer ganzen Mediane verlaufendes Leitbündel gefestigt, welches sich durch seitliche Verbindungsstränge (Verankerungen) mit dem meist sehr starken Medianbündel oder dem von ihm abhängigen Bündelnetz des Organes (Kelch- oder Kronblattes in Verbindung setzt, oder es sind nur diese letzteren Verbindungsstränge da, es entsteht dann eine „gürtelstrangartige Gefässbündelverbindung", für welche ich das Principielle darin erblicke, dass durch sie der Commissuralwinkel in gleicher Weise gegen ein Einreissen geschützt ist, wie die Commissur der Equisetenscheiden durch die Ankerzellen gegen das Weiterreissen, der Gürtelstrang legt sich in querer Richtung mit seinen langgestreckten Elementen über die Commissur hinweg. Ich will für dieses Vorkommniss nur ein, wie ich glaube, lehrreiches Beispiel anführen, die Corollen der von mir untersuchten Valerianaceen, welche ich bereits vor drei Jahren durch Abbildungen in der Flora brasiliensis fixirt habe[2]). Ich könnte einfach auf die Fig. 1 auf Taf. 100, Fig. 2s zu I und II auf Taf. 101, Fig 2α und 2β zu I und Fig. 2β zu II auf Taf. 102 jener Arbeit verweisen. Da jedoch die Flora brasiliensis nicht leicht zugänglich ist, so mag hier ein Bild der Corollen von Valerianopsis chamaedryfolia (Cham. et Schlchdl.) C. A. Muell. reproducirt werden (Taf. XIX, Fig. 8). Aus dem Nervenverlauf springt das Festigungsprincip unmittelbar in die Augen. Die Grenze zwischen dem trichterförmigen Theile der Corolle und den dreieckigen Zipfeln (oder wie es in der Terminologie der Systematiker heisst, zwischen Tubus und Limbus) markirt die gürtelförmige Leitbündelverbindung von etwas zickzackförmigem Verlauf. Unter jedem Commissurwinkel geht das Leitbündel als bogige Linie quer gegen die Längsrichtung der Commissur hinweg, nach Art einer flachen, straffgespannten Kettenlinie. Dieses Bogenstück ist also in Bezug auf die Festigungsfrage das Analogon des queren Bastbündels bei Casuarina und der quergerichteten Ankerzellen der Equiseten[3]). Zugleich erkennen wir

---

1) Wenigstens dürfte dies bei fehlendem Bastbeleg für den Hadromtheil (das Xylem) gelten.

2) Valerianaceae, Calyceraceae exposuit Carolus Mueller Ph. Dr. (Berolinensis).

3) Das Analogieverhältniss lässt übrigens die von mir gewählte Bezeichnung „Ankerzellen" von Neuem berechtigt erscheinen. In der Corolle von Valeria-

aber auch aus diesem Sachverhalt die fortschreitende Constructionsmethode. Bei den Equiseten ist die Festigung der Commissur wesentlich einer Zellschicht, der Oberhaut, anvertraut; bei Casuarina tritt ein Bündel quergestreckter Bastzellen auf, welche nur eine Function, die mechanische, zu erfüllen haben; bei den Valerianaceencorollen ist die Festigung einem ganz streng abgegrenzten Strange von Zellen überlassen, welchem neben der mechanischen Inanspruchnahme noch die Function eines leitenden Systemes zufällt. In allen Fällen aber tritt das gleiche Princip zu Tage: Festigung der Commissur durch in querer Richtung vor den Commissuralwinkel liegende Elemente.

Wenn ich mit dieser Bemerkung die vorliegende Arbeit schliesse, so darf natürlich nicht damit abgenommen werden, dass, wo auch immer die Festigung commissuraler Einschnitte auftritt, eine der erwähnten Festigungsformen angetroffen werden müsse. Es hiesse das der Natur nur wenige Mannichfaltigkeit in der Organisation ihrer Erzeugnisse zumuthen, ja es darf auch nicht verschwiegen werden, dass unter Umständen gar keine Festigung der Commissur sichtbar wird. Wie sich aber jeder vorkommende Specialfall deuten lässt und wie die Mannichfaltigkeit der Erscheinungen zu Tage tritt, — solche Fragen zu erläutern liegt ausserhalb des für diese Arbeit gesteckten Rahmens. Hier sollte an einem ausführlich behandelten Beispiele gezeigt werden, auf welchem Wege uns das Verständniss der einschlägigen Thatsachen eröffnet werden kann. Das Verständniss hängt nicht minder von der Aufklärung der morphologischen Verhältnisse als von der Kenntniss der anatomischen Structureigenheiten ab.

Berlin, Pflanzenphys. Inst. der kgl. Universität und bot. Inst. der kgl. landw. Hochschule, im Mai 1888.

nopsis chamaedryfolia (Fig. 46) stellen die 5 Mediannerven der Petalen im Tubus eben so viele Streben dar, deren obere Enden nach der Ingenieurterminologie durch den Gürtelstrang „verankert“ sind. Man vergl. auch die Fig. 9 auf Taf. XIX, welche einen Corollenabschnitt der männlichen Blüthe unserer Valeriana dioica darstellt. a bezeichnet darin das quergerichtete Ankerstück.

Figuren-Erklärung.

Tafel XVI.

Fig. 1. Längsschnitt durch eine Stammknospe eines aufstrebenden Sprosses von Equisetum limosum. Scheitelzelle und Sprosskegel ragen frei in die von den jüngeren und älteren Scheiden gebildete Gewölbekuppel hinein. Vergrösserung 16-fach.

Fig. 2. Längschnitt durch eine Stammknospe von Equisetum hiemale. Scheitelzelle und Sprosskegel wie in Fig. 1. Die Scheidenzähne und Scheidenränder stossen oberwärts gegen ältere Scheiden, daher tritt vielfach Knickung der inneren Scheiden in verschiedenen Höhen ein.

Fig. 3. Rhizomspitze von Equisetum hiemale in natürlicher Grösse.

Fig. 4. Rhizomspitze von Equisetum hiemale in dreifacher Vergr.

Fig. 5. Oberirdische Sprossspitze von Equisetum hiemale. Nat. Gr.

Fig. 6. Dieselbe Sprossspitze in dreifacher Vergrösserung.

Fig. 7. Oberirdische Sprossspitze von Equisetum limosum. Nat. Gr.

Fig. 8. Dieselbe Sprossspitze in dreifacher Vergrösserung.

Fig. 9. Oberirdische Sprossspitze von Equisetum arvense. Nat. Gr.

Fig. 10. Dieselbe Sprossspitze in dreifacher Vergrösserung.

Fig. 11. Theil einer Commissurmediane einer Scheide von Equisetum limosum. Die Längsreihen der Epidermiszellen werden nach oben hin undeutlich, es tritt die mediane Ankerreihe allmählich hervor. Im oberen Theil der Figur werden die Commissuralcurven deutlich. Vergrösserung 90-fach.

Fig. 12. Oberer Theil der in Fig. 11 dargestellten Commissurmediane. Die Ankerzellen bilden eine scharf markirte Mittellinie. Nach rechts und links gehen die Curvenäste nach den Zahnspitzen aufstrebend ab. Vergrösserung 90-fach.

Tafel XVII.

Fig. 1. Schema des Curvensystemes in der Commissur der in Fig. 11 und 12 der vorigen Tafel partiell wiedergegebenen Scheide. Nach dem Object bei 32-facher Vergrösserung entworfen, dann auf 16-fache Vergrösserung reducirt.

Fig. 2. Parabel, deren Parameter $p = 4$, deren Gleichung $x^2 = 8y$. (Längeneinheit für die Zeichnung 1 mm)

Fig. 3. Combinirte Curve; aus Theilen dreier Parabeln mit den Parametern $p = 4$, $p = 3{,}6$ und $p = 3{,}4$ zusammengesetzt. Diese Curve deckte sich genau mit der von der Camera lucida entworfenen Randcurve der in Fig. 1 auf Taf. XVIII wiedergegebenen Scheidenpartie.

Fig. 4. Lage der Elasticitätsellipsen in den Commissuralcurven der Scheiden von Equisetum limosum. Die Curven wurden mit der Camera nach einem bestimmten Objecte bei 90-facher Vergrösserung gezeichnet, die Figur aber für die Lithographie auf die Hälfte verkleinert.

Fig. 5. Lage der Elasticitätsellipsen in einer Ankerzelle. ab und cd markiren die orthogonal-gekreuzten Polarisationsebenen.

Fig. 6. Lage der Elasticitätsellipsen in einer Ankerzelle; diese ist um 180° gegen ihre in Fig. 5 angegebene Stellung gedreht.

Fig. 7. Vertheilung der Spannkräfte um einen Punkt. Mit a sind die in Richtung der grossen Axe der Elasticitätsellipse wirkenden, mit b sind die in Richtung der kleinen Axe derselben wirkenden Componenten bezeichnet.

Fig. 8. Darstellung der theilweisen Vernichtung der Kraft p, wenn OM in die Lage ON übergeführt wird. Es wirkt in dieser Richtung nur noch die Componente NR.

Fig. 9. Darstellung eines Theiles einer Kettenlinie, deren einer Aufhängepunkt A, deren Längsspannung in A gleich L, deren Querspannung Q ist, und in welcher die Spannkräfte mit k bezeichnet sind.

Fig. 10. Schematische Darstellung der nach dem Principe des Trägerwellbleches construirten Scheide von Equisetum hiemale.

Fig. 11. Schematische Darstellung derselben Scheide unter Berücksichtigung der carinalen Einsenkungen (bei den durch × angemerkten Stellen).

Fig. 12. Querschnitt einer jugendlichen Scheide aus einer Stammknospe von Equisetum hiemale. Der Schnitt zeigt drei Commissuren mit ihren Ankerzellen. Vergrösserung 138-fach.

Tafel XVIII.

Fig. 1. Flächenansicht eines zwei Zähne umfassenden Scheidenstückes eines oberirdischen Stammes von Equisetum limosum. Die Zahnspitzen sind abgestorben und gebräunt. Die Spaltöffnungen rechts und links von der Carina der Zähne sind functionsuntüchtig geworden. Die Commissuralcurven sind zwischen den Zähnen angedeutet. Vergrösserung 16-fach.

Fig. 2. Lage der Polarisationsebenen und der Elasticitätsellipse eines in Diagonalstellung eingeschalteten Gipsplättchens. ab markirt die Schwingungsebene des polarisirten Strahles im Polarisator, dessen Polarisationsebene in cd projicirt ist. Die Polarisationsebene des Analysators ist durch ab angegeben, die Schwingungsebene des aus ihm austretenden Strahles ist cd. Die Elasticitätsellipse des Gipsplättchens ist roth gezeichnet. Die blaue Ellipse stellt die Elasticitätsellipse eines in Additionsstellung, die gelbe Ellipse die Elasticitätsellipse eines in Subtractionsstellung befindlichen zweiten Plättchens dar, welches bei der Untersuchung durch den auf die optischen Eigenschaften zu prüfenden Körper ersetzt wird. Die Linien ab und cd wurden bei meinem Instrument durch ein eingeschaltetes Fadenkreuz sichtbar gemacht.

Fig. 3. Bild des in Fig. 1 dargestellten Scheidenstückes von Equisetum limosum, im Polarisationsmikroskop bei gekreuzten Nicols und Gipsplättchen Roth II in Diagonalstellung (wie Fig. 2 angiebt) betrachtet. Die Richtung der Medianlinie der Commissur fällt mit der Linie ab der Fig. 2 zusammen.

Fig. 4. Bild des in Fig. 1 dargestellten Scheidenstückes im Polarisationsmikroskop, falls die Commissurmediane in die Additionsrichtung ef der Fig. 2 gebracht wird. Fig. 4 ist das Farbenbild, welches aus Fig. 3 hervorgeht, wenn das Scheidenstück dieser Figur um 45° nach rechts, d. h. in die Additionsrichtung hineingedreht wird.



Fig. 5. Bild desselben Scheidenstückes im Polarisationsmikroskop. Die Commissurmediane ist in die Richtung gh der Fig. 2 gebracht worden. Fig. 5 ist das Bild, in welches Fig. 3 übergeht, wenn das hierin dargestellte Scheidenstück um 45° nach links, in die Subtractionsrichtung, gedreht wird.

Fig. 6 Dreifache Färbung einer Ankerzelle in Fig. 3. Die Richtungen ab und cd coïncidiren hier wie in den folgenden Figuren (7—9) mit den Richtungen der Polarisationsebenen ab und cd der Fig. 2. Der in den „Additionsquadranten" fallende Theil der Ankerzelle erscheint blau, der in den „Subtractionsquadranten" fallende Theil gelb. Vergl. hierzu Fig. 5 auf Taf. XVII.

Fig. 7. Doppelte Färbung einer Ankerzelle in Fig. 4. Die in die Richtungen ab und cd fallenden Enden sind roth. Fig. 7 wird aus Fig. 6 erhalten durch Drehung des Objectes um 45° nach rechts.

Fig. 8. Dreifache Färbung einer Ankerzelle, analog der Färbung in Fig. 6, doch so, dass ein Vertauschen der Farben in den Endpartien stattgefunden hat. Die in Fig. 6 gelbe Endpartie ist in Fig. 8 die blaue u. s. f. Fig. 8 wird aus Fig. 7 erhalten durch Drehung des Objectes um 45° nach rechts. Fig. 8 erscheint gegen Fig. 6 um 90° gedreht.

Fig. 9. Doppelte Färbung einer Ankerzelle, wie sie in Fig. 5 erscheint. Die Fig. 9 geht aus Fig. 8 hervor, wenn das Object aus letzterer Lage um weitere 45° nach rechts gedreht wird. Fig. 9 giebt also das gegen Fig. 6 um 135° gedrehte Bild, oder das gegen Fig. 7 um 90° gedrehte Bild.

Tafel XIX.

Fig. 1. Querschnitt durch den obersten Theil der Commissur einer Scheide von Equisetum arvense. Oberirdischer Spross. Vergr. 138-fach.

Fig. 2. Querschnitt durch dieselbe Scheide, etwas entfernter vom Scheidenrande. Die Commissur ist hier dreischichtig. In Fig. 1 und 2 ist die Valecularfurche sehr seicht. Vergr. 138-fach.

Fig. 3. Querschnitt durch den obersten Theil einer Scheide der oberirdischen Stammknospe von Equisetum hiemale. Schnitt aus dem eventuell kapuzenartig sich abhebenden Theil einer Scheide; vergl. Fig. 6 auf Taf. XVI, auch die Fig. 4 und 5 auf Taf. XIX. Vergr. 138-fach.

Fig. 4. Oberes Ende einer frei präparirten Scheide aus der oberirdischen Stammknospe von Equisetum hiemale. Die gezeichnete Scheide war die siebentäusserste der Knospe. Vergr. 16-fach.

Fig. 5. Oberes Ende der nächstinneren Scheide, welche von der in Fig. 5 gezeichneten umhüllt wurde. Vergr. 16-fach.

Fig. 6. Oberflächenansicht eines ausgebildeten Scheidenabschnittes (Blattes) von Equisetum hiemale. Die Valecularfurchen erscheinen (rechts und links je eine) als „Verzahnung" in Form der geschlängelten Linien aa' und bb'. Vergrösserung 60 fach.

Fig. 7. Querschnitt durch die Valecularpartie einer Scheide des Rhizomes von Equisetum hiemale. Alle Zellen der Commissur erscheinen quer gedehnt. Vergr. 138-fach.

Fig. 8. Blumenkrone von Valerianopsis chamaedryfolia (von oben her gesehen). Vergr. etwa 10-fach.

Fig. 9. Stück einer aufgeschlitzten und flach ausgebreiteten Krone einer männlichen Blüthe von Valeriana dioica. a wirkt als Ankerverbindung. Vergr. 8-fach.

Tafel XX.

Fig. 1—5 stellen die Entwickelungsgeschichte der Ankerzellen von Equisetum hiemale auf Querschnitten durch Scheiden verschiedenen Alters dar. Alle Figuren sind 350-fach vergrössert.

Fig. 1. Querschnitt durch eine meristematische Scheide aus einer Stammknospe. Die Commissur ist zweischichtig.

Fig. 2. Querschnitt durch eine etwas ältere Scheide. Die Valecularfurche schliesst sich bereits oberhalb der Ankerzelle.

Fig. 3. Querschnitt durch eine noch ältere Scheide. Die Valecularfurche ist völlig geschlossen, die Ankerzelle immer noch wenig gekrümmt.

Fig. 4. Querschnitt durch eine Scheide, welche noch nicht die secundäre Verdickung ihrer Elemente zeigt. Die Ankerzelle hat ihre charakteristische Form bereits angenommen.

Fig. 5. Querschnitt durch eine ausgewachsene, fertige Scheide. Die Ankerzelle, die in der Valecularfurche sich gegenseitig berührenden und die frei nach aussen liegenden Epidermiszellen sind stark verdickt und zeigen zum Theil deutliche, steifende Leisten.

Druck von G. Bernstein in Berlin.

Inhalt

des vorliegenden 4. Heftes, Band XIX.

Fig. 1.

A.

B.

Fig. 3.

q q'

Fig. 4.

Fig. 2.

b' p v a' n

b a c'

Fig. 9.

Fig. 5.

A.

B.

Fig. 10.

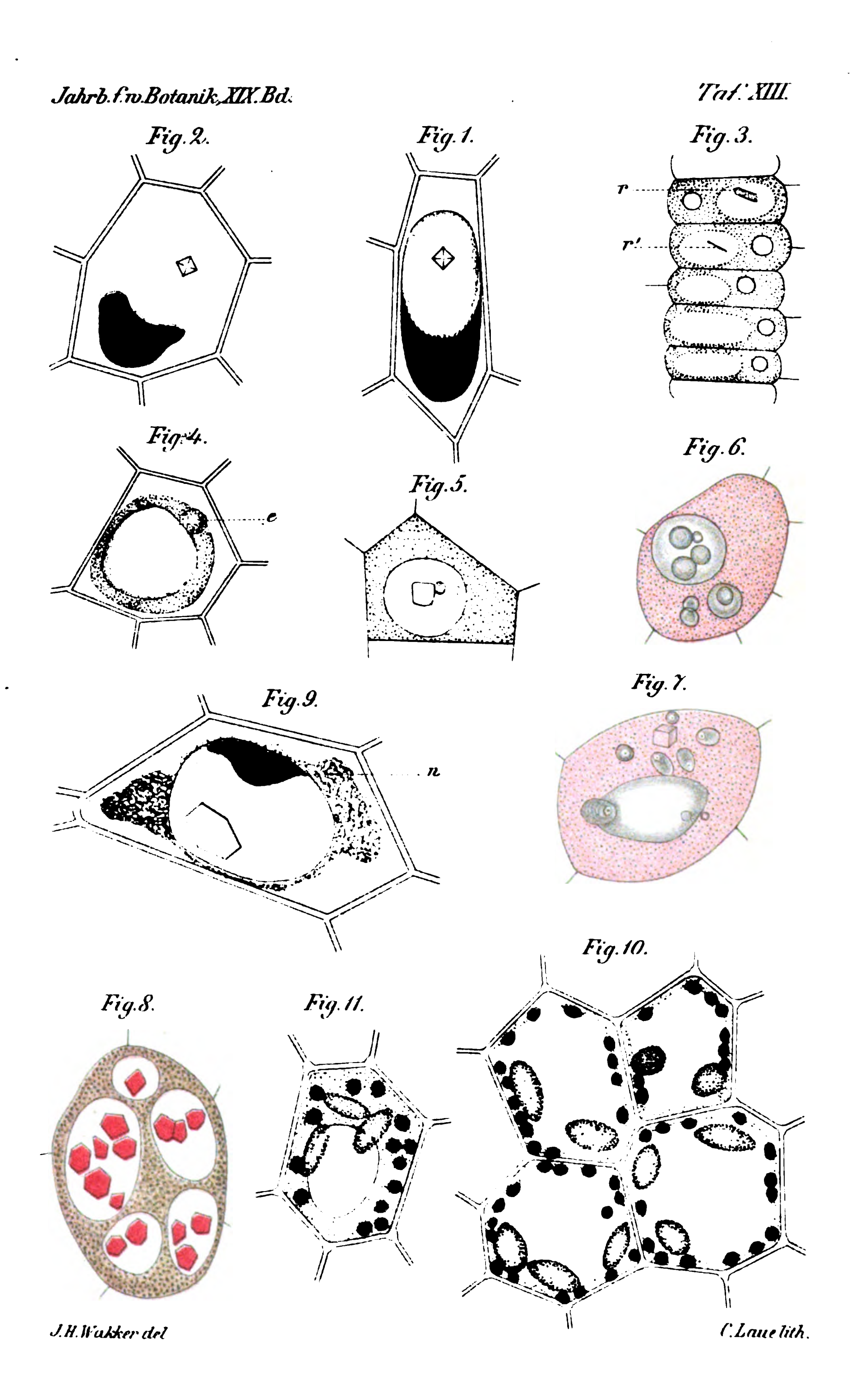
Fig. 6.

Fig. 7.

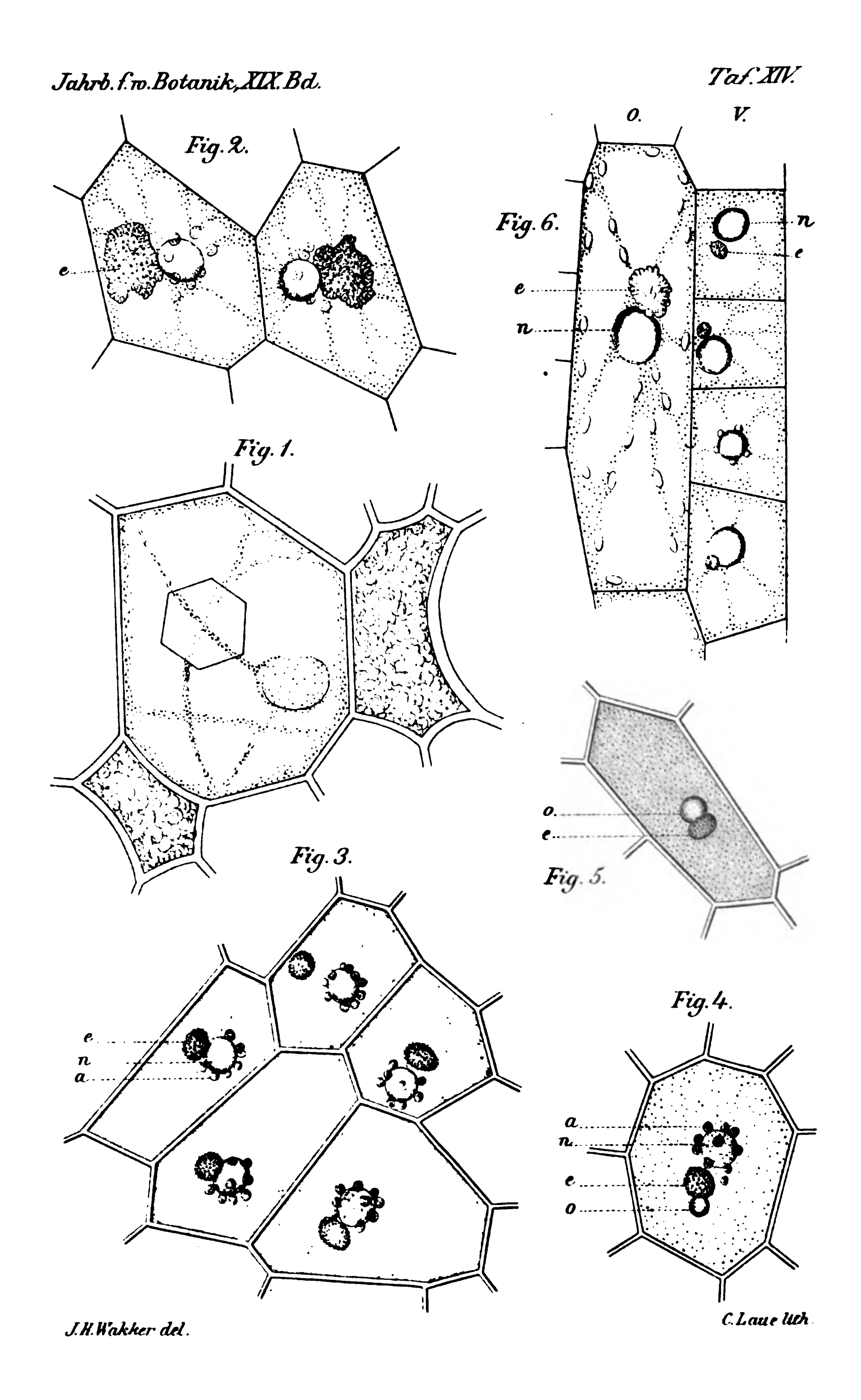
Fig. 8.

J. H. Wakker del.

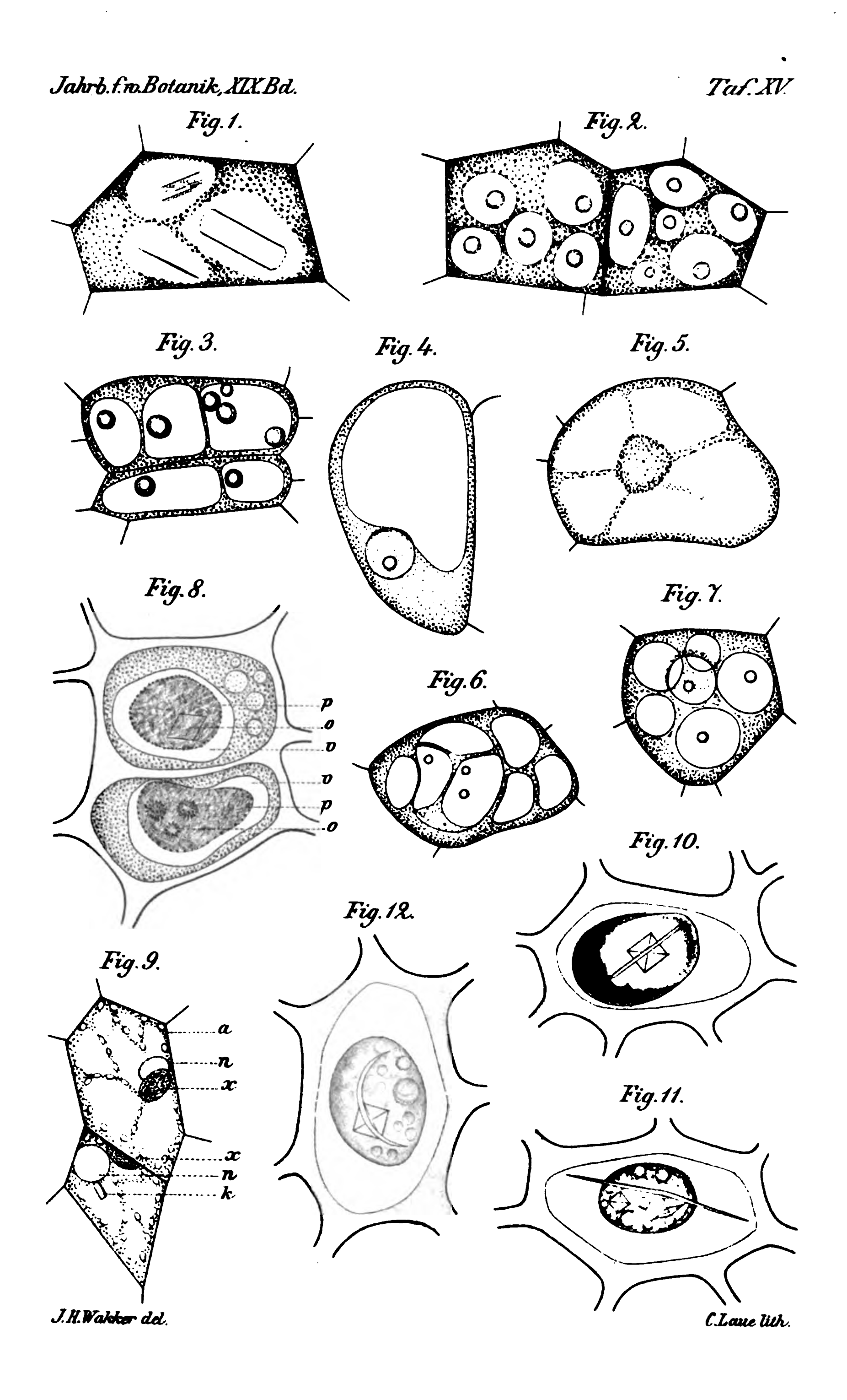
C. Laue lith.

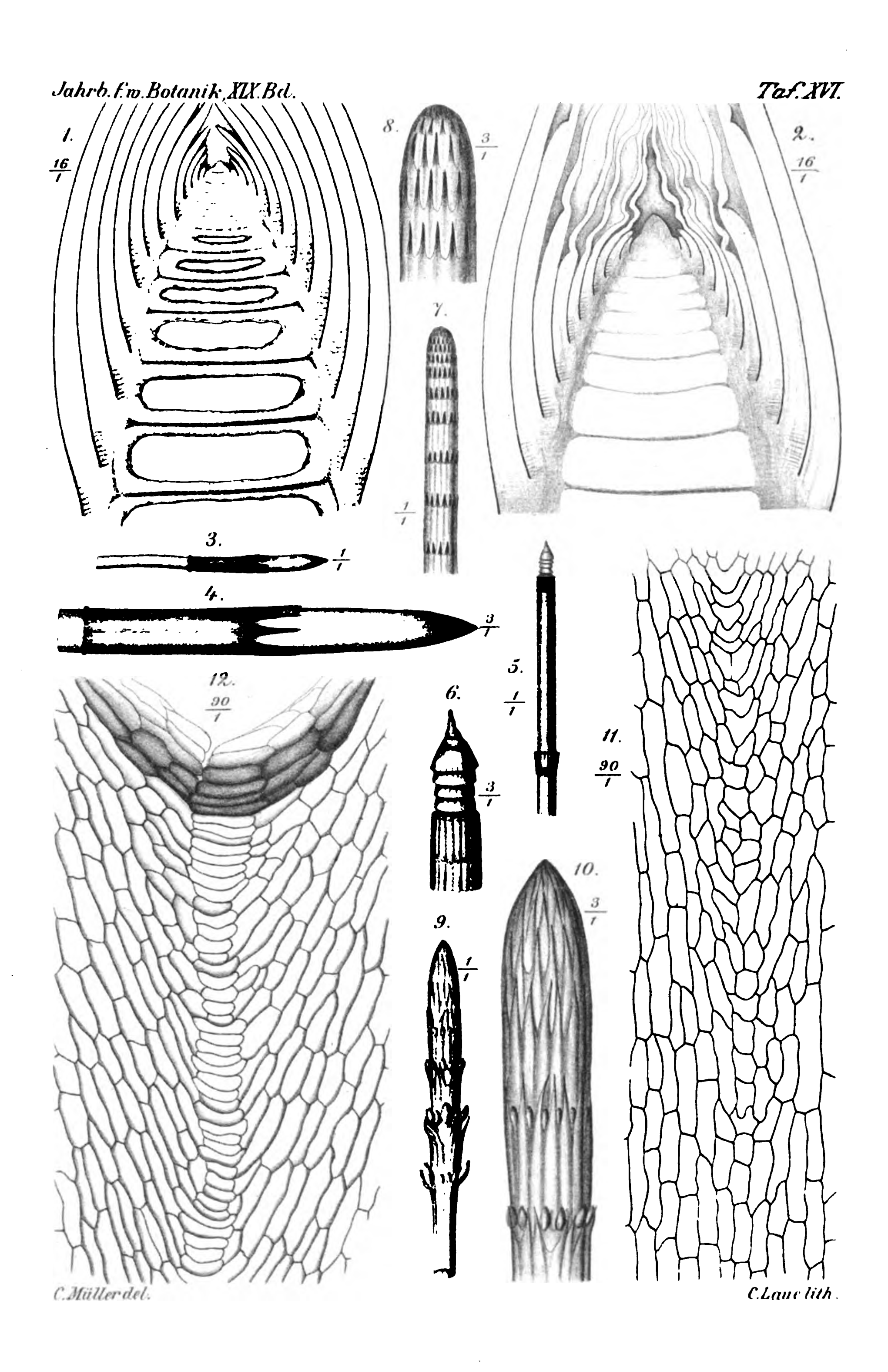


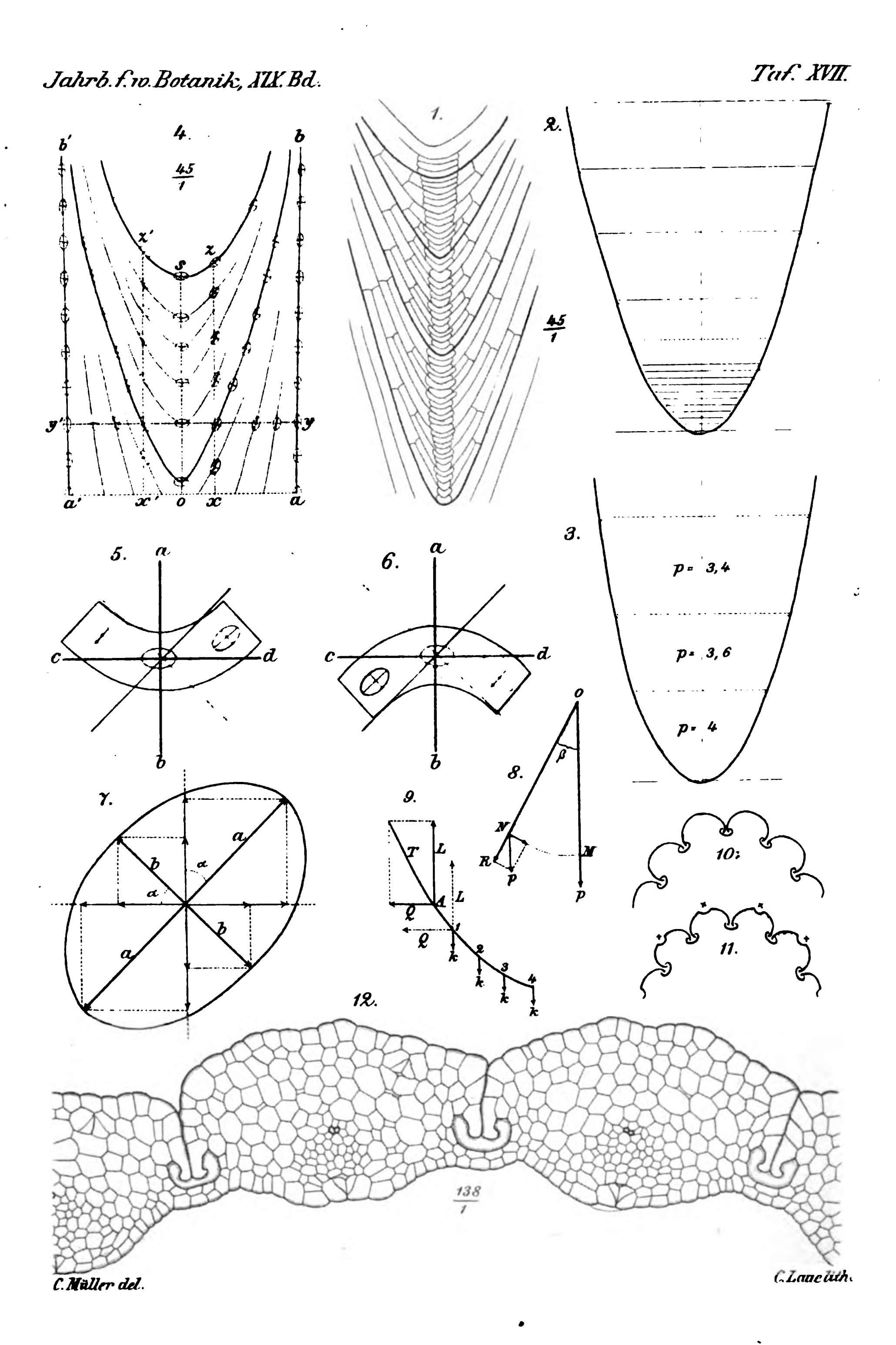
J. H. Wakker del. C. Laue lith.



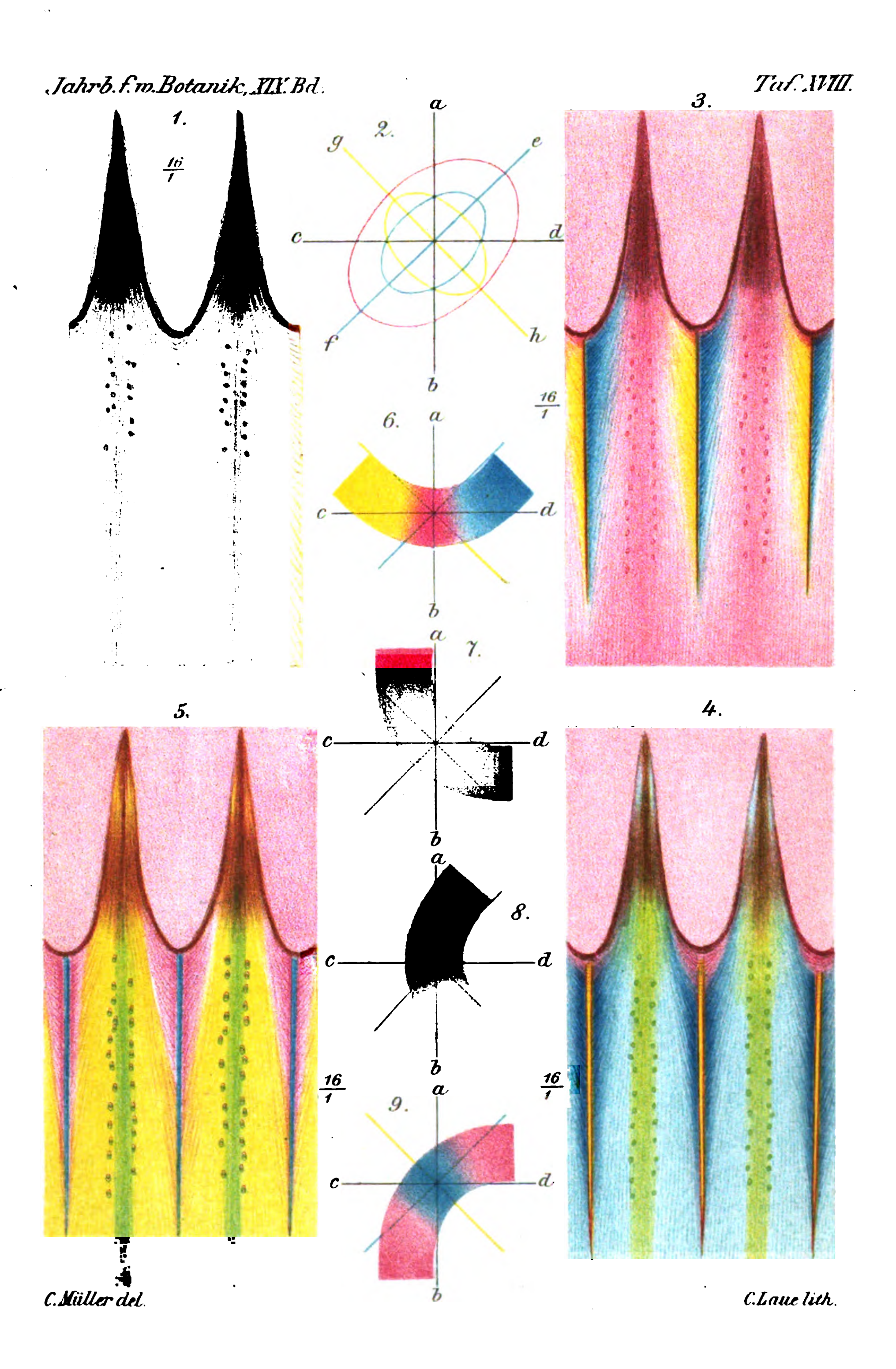
J. H. Wakker del.   C. Laue lith.


Fig. 1.
Fig. 2.
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 8.
p
o
v
v
p
o
Fig. 7.
Fig. 6.
Fig. 10.
Fig. 12.
Fig. 9.
a
n
x
x
n
k
Fig. 11.
J. H. Wakker del.
C. Laue lith.

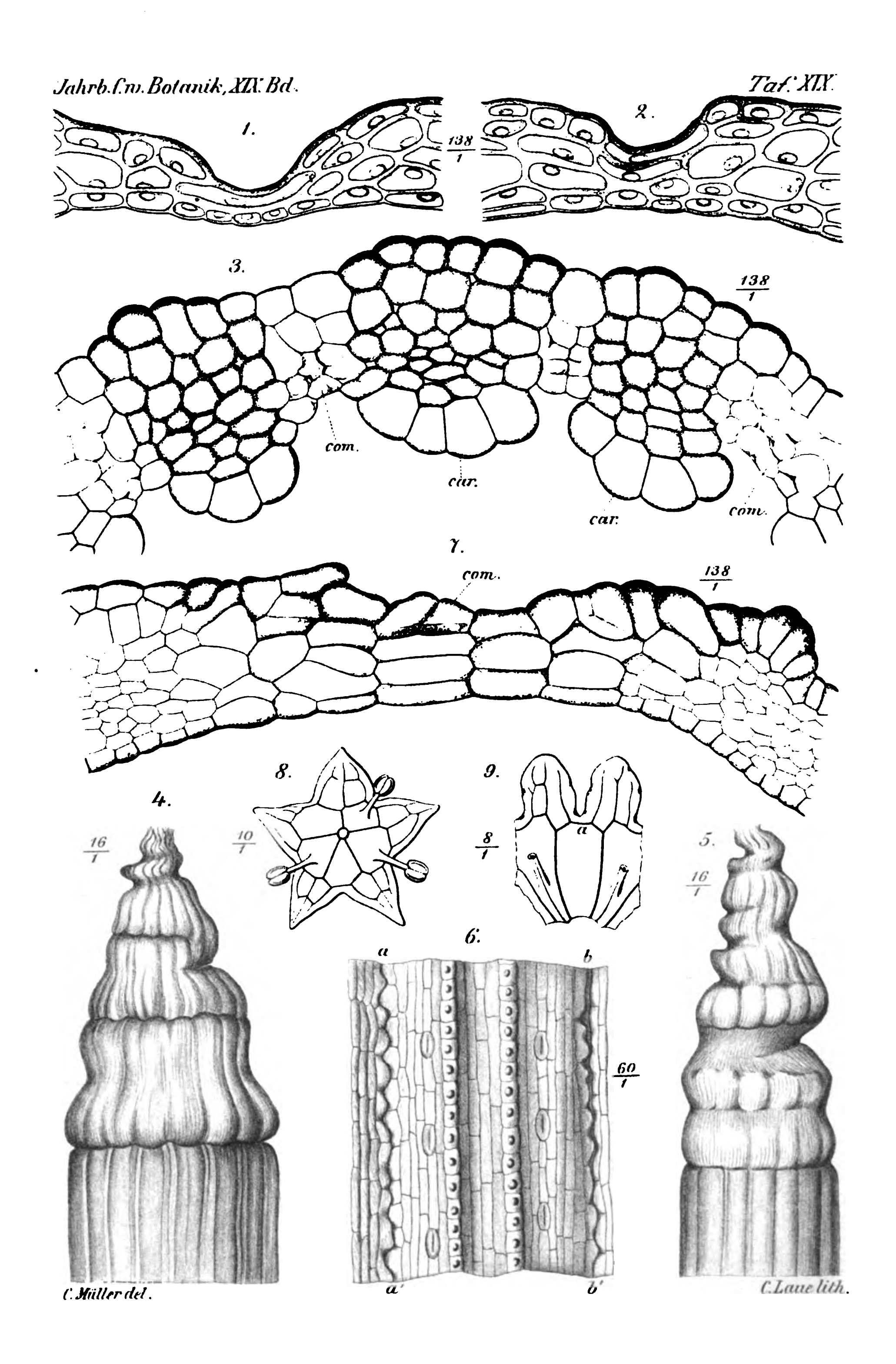

1.
16/1
2.
16/1
3.
1/1
4.
3/1
5.
1/1
6.
3/1
7.
1/1
8.
3/1
9.
1/1
10.
3/1
11.
90/1
12.
90/1
C. Müller del.
C. Laue lith.

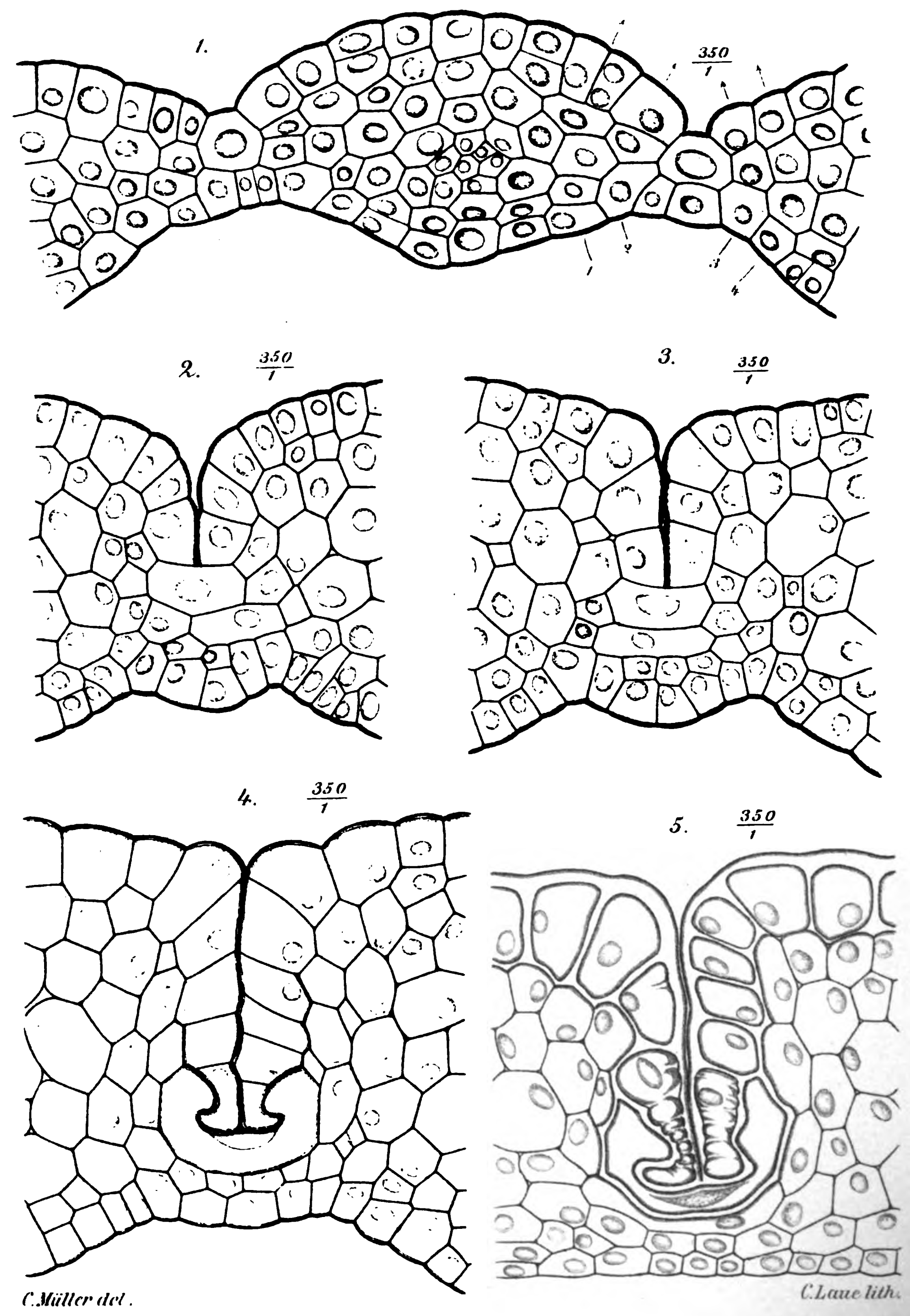


Jahrb. f. w. Botanik, XIX. Bd.
Taf. XVII.
1.
2.
3.
4.
45/1
45/1
b'
b
z'
z
s
y'
y
a'
x'
o
x
a
p = 3,4
p = 3,6
p = 4
5.
6.
a
b
c
d
7.
8.
9.
10.
11.
12.
T
L
Q
A
k
N
R
M
P
138/1
C. Müller del.
C. Laue lith.



C. Müller del. C. Laue lith.


Jahrb. f. w. Botanik, XIX. Bd.
Taf. XIX.
1.
138/1
2.
3.
138/1
com.
car.
car.
com.
7.
com.
138/1
8.
9.
4.
16/1
10/1
8/1
a
5.
16/1
6.
a
b
60/1
a'
b'
C. Müller del.
C. Laue lith.



C. Müller del.

C. Laue lith.

Inhalt des vorliegenden 4. Heftes, Band XIX.

Inhalt des vorhergehenden 1., 2. u. 3. Heftes, Band XIX.

Correspondenten und Einsendern von Manuscripten zur gefälligen Kenntnissnahme, dass meine gegenwärtige Adresse ist:

Berlin W. Königin-Augustastrasse 49.

Im März 1887.

Pringsheim.



Um dem **Botanischen Jahresbericht** die möglichste Vollständigkeit geben zu können, richte ich an die Herren Autoren die Bitte um gefällige schleunige Zusendung ihrer Arbeiten, namentlich auch der Sonderdrucke der Zeitschriften, entweder direct an mich oder auf dem Buchhändlerwege an die Verlagsbuchhandlung der **Gebrüder Borntraeger in Berlin.**

Dr. E. Köhne in Berlin-Friedenau.

Druck von G. Bernstein in Berlin.